UNIVERSAL LIBRARY

Herrose & Ziemsen GmbH., Wittenberg (Bez. Halle)

Zur Einführung

Die Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft hat sich von Anbeginn auch Problemen der Geophysik und der atmosphärischen Physik zugewandt, die für den Aufbau der Erdrinde und ihrer Schätze wie für die sie umgebende atmosphärische Hülle und damit für die Bedingungen des gesamten organischen Lebens und der Beziehung zum Weltraum unendliche Werte bergen. Das vorliegende Heft gibt näheren Einblick in Aufgaben, die bereits begonnen sind, sowie solche, deren Lösung erstrebt werden muß.

Es liegt mir daran, allen, die auf diesen Gebieten der Gemeinschaftsforschungen in der Notgemeinschaft gearbeitet haben, vor allem auch dem viel zu früh abgerufenen genialen Forscher, dessen Abhandlung das Heft eröffnet, wärmstens zu danken.

Dr. F. Schmidt-Ott.

Inhalt

Untersuchungen über die Beschaffenheit der Erdrinde und der Lufthülle

Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. E. Wiechert, Göttingen †

Den nachstehend abgedruckten Überblick über die seismische Untersuchung der Erdrinde und der Lufthülle durch Beobachtung der Wirkung von Sprengungen hatte Geheimrat Wiechert im Oktober 1927 abgeschlossen. Seine Absicht war dann, den Aufsatz in den speziellen Fragen seines Arbeitsgebietes weiter auszubauen, und trotz seines schweren Leidens hat er sich bis zum letzten Tage mit der Frage der Darstellung seiner bisherigen grundlegenden Versuchsergebnisse befaßt.

Geheimrat Wiechert hat dem Ausbau der Methoden und der wissenschaftlichen Deutung der künstlichen Erdbebenwellen das letzte Jahrzehnt seines Lebens gewidmet, und die Gemeinschaftsarbeit der Notgemeinschaft, die sich um die Beobachtung von in ihren Bedingungen vorher festgelegten Sprengungen gruppiert, geht auf seine Anregung zurück. So mag sein Aufsatz, der die letzte schriftliche Aufzeichnung dieses um seine Wissenschaft so hoch verdienten Forschers darstellt, unverändert in dem Zustande abgedruckt werden, in dem er hinterlassen wurde. Das große Lebenswerk Wiecherts ist an anderer Stelle von berufener Seite gewürdigt worden, so daß es sich erübrigt, im Rahmen dieses Heftes, dessen wissenschaftliche Ergebnisse an vielen Stellen das Gepräge des Verstorbenen tragen, auf seine Person und sein Werk einzugehen.

I. Seismische Untersuchungen.

Der Privatdozent der Astronomie, Ernst v. Rebeur-Paschwitz, stellte gegen Ende des vorigen Jahrhunderts an mehreren Orten „Horizontalpendel“ auf, um den Einfluß von Sonne und Mond auf die Lotrichtung zu beobachten. Die Apparate erlangten in unerwarteter Weise noch in anderer Hinsicht hohe Bedeutung für die Erdphysik. Durch die Aufzeichnungen des in Potsdam stehenden Apparates am 18. April 1889 wurde festgestellt, daß Erderschütterungen sich bemerkbar machten, welche durch ein Erdbeben in Japan in 9000 km Entfernung verursacht worden waren. Weitere ähnliche Erfahrungen schlossen sich an. Das war ein großes Ereignis; es stand nun fest, daß elastische Wellen den Erdkörper bis in weite Entfernungen durchlaufen konnten. Sofort erwachte die Hoffnung, durch

die Erdbebenwellen Aufschlüsse über die Beschaffenheit des Erdinnern zu gewinnen. Was die Röntgenstrahlen für unseren eigenen Körper leisteten, das durfte von den Erdbebenstrahlen für den Erdkörper erwartet werden.

Die Erdbebenforschung gewann so einen mächtigen Antrieb. Sie hatte nun nicht mehr allein lokales Interesse für erdbebenreiche Länder und deren geologisches Verhalten. Beobachtungsstationen für Erdbeben erhielten Bedeutung auch weitab von den Gebieten seismischer Tätigkeit der Erde.

Das hohe Ziel, durch Erdbebenbeobachtungen die Beschaffenheit des tiefen Erdinnern zu enträtseln, zog auch mich in ihren Bann, denn die Physik des Erdkörpers war ein Problem, welches ich schon von anderer Seite her in Angriff genommen hatte (Form, Massenlagerung, Schwerkraft). Ich begann meine Arbeiten auf dem Gebiete der Seismik, indem ich 1898 ein Instrument ähnlicher Art baute, wie das von v. Rebeur-Paschwitz, jedoch mit solchen Umwandlungen, wie die besonderen Aufgaben der Seismik es verlangten. So stellte sich der Apparat als photographisch-registrierendes Horizontalpendel dar; neu war außer der großen Laufgeschwindigkeit des Registrierwerkes die Luftdämpfung des Pendels. Die letztere war wichtig, weil es darauf ankam, die einzelnen Phasen der Bebenaufzeichnung zu erkennen, ohne durch die Eigenschwingungen des Pendels gestört zu werden. Zu diesem ersten Seismometer kamen im Laufe der Zeit manche weiteren Instrumente hinzu; das Göttinger Geophysikalische Institut erhielt ein besonderes „Erdbebenhaus".

Der Eifer aller Beteiligten, unter denen ich die Freude hatte, mehrere meiner Schüler zu zählen, führte zu wundervollen Ergebnissen. Wir wissen heute, daß die Erde dreiteilig aus Kern, Mittelschicht und Schale besteht. Die physikalische Chemie mit ihren Gesetzen des chemischen Gleichgewichts hat sogar, wie mein Göttinger Kollege G. Tammann zeigte, angeben können, aus welchen Substanzen die Teile bestehen. Der Metallkern in der Tiefe enthält in der Hauptsache Eisen mit einer starken Beimischung von Nickel. In der Mittelschicht finden wir vornehmlich Eisenverbindungen. Die äußere Schale besteht aus Gestein. Nach den Untersuchungen über die Ausbreitung der Wellen beträgt die Dicke des Gesteinmantels etwa 1200 km; der Metallkern beginnt in etwa 2900 km Tiefe unter uns.

Während für die Tiefen der Erde durch die Beobachtungen eine außerordentliche Einfachheit des Aufbaues und eine Gleichförmigkeit

der Beschaffenheit angezeigt wird, liegt die Sache ganz anders für eine verhältnismäßig dünne Haut, welche den Gesteinmantel umgibt, und auf der wir leben. Schon der äußere Anblick in Berg und Tal, Land und Meer lehrt uns Ungleichmäßigkeiten kennen. Der Bergbau gibt weitere Aufschlüsse. Geologische und geophysikalische Überlegungen in Verbindung mit geodätischen und gravimetrischen Messungen machen es sehr wahrscheinlich, daß die Rinde höchstens 100 km dick ist. Für die Erde im ganzen bedeutet sie also nur eine dünne Haut; gerade an sie aber und ihre Wandlungen knüpft die Wissenschaft Untersuchungen über die Geschichte der Erde; gerade sie ist für das Leben auf der Erde maßgebend; der Bergbau, von welchem unser Kulturleben weitgehend abhängig ist, gehört ihr an. Trotz alledem führte die vorhin geschilderte Entwicklung der Seismik dahin, daß der Rinde zunächst wenig Aufmerksamkeit geschenkt wurde. Man begnügte sich meist damit, die Orte aufzusuchen, wo die Erdbeben stattfanden, und knüpfte daran Untersuchungen über die Umgestaltungen der Erdrinde, deren Begleiterscheinung die Erdbeben sind. Erst allmählich wandelte sich der Standpunkt der Seismiker, als die großen Fragen über die Beschaffenheit der Tiefe der Erde ihre Beantwortung gefunden hatten. Da begannen die Gedanken sich an die Erdrinde zu heften: Sollte nicht auch über deren Beschaffenheit durch die Erdbebenwellen Auskunft gewonnen werden können? Heute ist es so weit gekommen, daß die Erdrinde für die Forschungstätigkeit der Seismik eines der Hauptarbeitsgebiete bedeutet.

Da kann nun nicht verkannt werden, daß sich den Forschern sehr viele schwierigere und verwickeltere Probleme entgegenstellen als bei der Weltseismik. Für diese konnte man Beobachtungsstationen über die ganze Erde nach Belieben verteilen, denn man hatte den gleichmäßig beschaffenen Erdkörper überall unter sich. Ganz anders wird die Sachlage bei der Untersuchung der Erdrinde, deren Beschaffenheit von Ort zu Ort verschieden ist. Weder ist es möglich, genügend viele Erdbebenbeobachtungsstationen zu schaffen, noch gibt es genügend viele Erdbeben. Zu allem kommt, daß für die Untersuchungen des gewaltigen Erdkörpers die Erdbeben selbst bei großem Ausmaß meist so behandelt werden konnten, als wäre der Herd punktförmig und läge in der Erdoberfläche. Bei der Untersuchung der Erdrinde geht das nicht mehr. Hier bringen die Fragen nach der Herdtiefe und nach den Vorgängen am Herd neue Verwicklungen.

Aber Schwierigkeiten wecken auch die Kampfesfreudigkeit des

Forschers. Dankbar muß anerkannt werden, daß wertvolle Ergebnisse schon gewonnen worden sind. Besonders möchte ich hervorheben, daß A. Mohorovicic für den Süden von Europa auf einen Sprung in der Beschaffenheit der Erdrinde in 50—60 km Tiefe hat schließen können. Wahrscheinlich hängt er mit dem Aufbau des Kontinentes zusammen.

Für die Untersuchung der Erdrinde gelang es mehrfach, Erschütterungen zu verwerten, welche Folgen der menschlichen Tätigkeit waren: Einsturz in Bergwerken und Tunneln, Explosionen. Ja, es zeigte sich, daß hier, wo der Herd genau bekannt war, gegenüber den natürlichen Erdbeben erhebliche Vorteile für die wissenschaftliche Arbeit sich ergaben. So wurde man zu dem Gedanken geführt, beabsichtigte künstliche Beben, etwa die infolge von Sprengungen, für die Untersuchung der Erdrinde zu verwerten. Dabei ergibt sich schwerwiegend der weitere Vorteil, daß nicht nur der Ort, sondern auch die Zeit des Bebens genau bekannt ist. O. Hecker hat schon am Schluß des vorigen Jahrhunderts hierher gehörige Beobachtungen gemacht. Ich baute 1906 für Beobachtung künstlicher Beben ein Seismometer, welches 50 000fach vergrößerte, und konnte dank dem Entgegenkommen der Firma Krupp Beobachtungen auf dem Schießplatz bei Meppen anstellen. Wohl gelang es, noch in 16 km Entfernung die Wirkung der Geschütze zu beobachten, aber ich lernte auch die Schwierigkeiten der Aufgabe recht sehr kennen. Der Untergrund dort besteht aus Sand. Wenn ich neben dem Instrument am Boden lag, um es zu bedienen, wurde mein Herzschlag aufgeschrieben! Die Menschen, welche mir beim Aufbau geholfen hatten, mußte ich auf weiter als 100 m fortschicken, weil jede ihrer Bewegungen störte. Selbst auf dem festen Kalkuntergrund des Hainbergs bei Göttingen, wo das Geophysikalische Institut steht, gab das Instrument bei entsprechender Regulierung dauernd eine Unruhe des Bodens an, die bei feinen Beobachtungen störend war.

Von meinem Schüler L. Mintrop wurde der Apparat benutzt, um die Bodenerschütterungen durch den Fall schwerer Massen und durch den Betrieb von Maschinen zu untersuchen. Diese Arbeiten regten Mintrop, der von Bergbaukreisen kam, dazu an, die Seismik künstlicher Sprengungen für Bergbauzwecke auszunutzen. Hier liegen die Verhältnisse insofern günstiger als für die allgemeine Untersuchung der Erdrinde, weil nur geringe Tiefen, bis etwa 1 km, in Betracht kommen, und man sich in der Hauptsache auf besonders einfache Ver-

hältnisse der Lagerung beschränken kann. Dr. Mintrop griff seine Aufgabe mit hohem praktischen Sinne an, baute besondere, den Zwecken angepaßte Apparate, gründete eine Firma „Seismos" (Hannover) für die Ausnutzung seiner Methoden. Es sind volkswirtschaftlich bedeutende Ergebnisse erzielt worden. Von wissenschaftlicher Seite haben neuerdings G. Angenheister (Potsdam) sowie O. Meißner und H. Martin (Reichsanstalt für Erdbebenforschung in Jena) ähnliche Arbeiten wie die der Seismos aufgenommen. Auch W. Schweydar hat sich ihnen zugewandt.

Meine Blicke blieben auf die Physik der Erdrinde gerichtet. Ich hoffte, nützlich sein zu können, wenn ich bei Benutzung künstlicher Beben durch Sprengungen nach den Grenzen suchte, welche Apparate und Methoden für die Erforschung der Erdrinde zu erreichen gestatten. Ich wollte so Hilfe leisten bei der Schaffung einer Geologie der Tiefen der Erdrinde, an welcher Geologie, Geodäsie und Geophysik in gleicher Weise Anteil nehmen. Meine Hoffnung ist, daß die Arbeiten auch wieder für die Volkswirtschaft von Nutzen sein werden, gerade so wie seinerzeit jene mit rein wissenschaftlichen Zielen begonnenen Arbeiten, welche auf dem Schießplatz Meppen begannen.

Dankbar die Unterstützung der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft empfangend, baute ich 1922 für Göttingen ein Seismometer, welches auf eine Vergrößerung von 5 Millionen berechnet war. Wegen der Anfängerschwierigkeiten begnügte ich mich zunächst damit, die Vergrößerung nur bis zirka 2 Millionen zu treiben. Der Apparat arbeitete über Erwarten gut. Durch zweckmäßige Regulierung lassen sich die Störungen der nahen Stadt Göttingen so herabmindern, daß sie wenig hinderlich sind. Der Wunsch nach der 5-Millionen-Vergrößerung wurde rege, aber ich wagte nicht, die Umwandlung vorzunehmen, da auf die ständige Arbeitsbereitschaft des Apparates nicht verzichtet werden durfte.

Für die Verwendung des 2-Millionen-Seismometers ist es ein glücklicher Umstand, daß in der näheren und ferneren Umgebung Göttingens eine Reihe von Steinbrüchen vorhanden ist, wo von Zeit zu Zeit größere Sprengungen vorgenommen werden. Die Mitarbeit wurde uns von den Steinbruchverwaltungen in dankenswertester Weise gestattet. Dazu kamen Sprengungen der Heeresverwaltung, welche diese im Verein mit der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft für wissenschaftliche Zwecke nutzbar macht. So wurde erreicht, mit dem Seismometer Entfernungen bis über 200 km zu überbrücken.

Nach solchen Erfolgen erschien nun als die wichtigste Aufgabe, bewegliche Feldapparate von ähnlich hoher Vergrößerung zu beschaffen. Wieder fand ich die Unterstützung der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft. Im Jahr 1926 gelang es, mit Vergrößerungen bis 800 000 im Feld zu arbeiten. Das war so übel nicht. Leider mußte ich erkennen, daß die Verwendung der Apparate unter normalen Umständen sehr schwierig ist. Wesentliche Verbesserungen mußten angestrebt werden. Wieder trat die Notgemeinschaft helfend ein. Ich hatte gehofft, die Aufgabe, praktisch gut brauchbare Feldinstrumente der gewünschten Vergrößerung zu gewinnen, noch vor dem Sommer 1927 lösen zu können; das erwies sich als ein Irrtum. Die Schwierigkeiten waren größer, als vorausgesehen: Erst Ende des Sommers 1927 gelang es, sie zu überwinden. Nun sind wir dabei, die sehnlichst erwarteten Werkzeuge für die Feldarbeit zu beschaffen. Soeben ist auch die fünfmillionenfache Vergrößerung erreicht worden; es fehlt mir aber noch das Urteil, ob sie Vorteil bieten wird.

Über einige der gewonnenen Resultate erstattete ich vor einem Jahr auf der Naturforscherversammlung in Düsseldorf Bericht. (Gedruckt in der „Geologischen Rundschau", Bd. XVII, S. 339—346.) Die Beobachtungen lassen das variszische Grundgebirge erkennen, welches unter Göttingen dahinzieht und weite Gebiete umfaßt. Mancherlei Einzelheiten treten hervor, und es ergeben sich auch schon Anhaltspunkte, die tiefere Struktur dieser Gebiete zu erkennen. —

Wenn ich bedenke, welches Vertrauen mir von der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft entgegengebracht wurde, wenn ich mir den nimmer rastenden Eifer meiner jungen Mitarbeiter vergegenwärtige, dann bietet der Gedanke eine Erleichterung, daß die gewonnenen Ergebnisse weitere Fortschritte erhoffen lassen. —

Erwähnt mag noch werden, daß, ebenfalls mit Unterstützung durch die Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft, Dr. H. Mothes im Sommer 1926 eine Expedition in die Alpen machte, um mit unseren Seismometern unter Benutzung von Sprengungen Eisdicken-Messungen von Gletschern vorzunehmen (Zeitschrift für Geophysik, 3. Jahrgang, 1927 S. 121—134). Es gelang dies gut infolge des bemerkenswerten Umstandes, daß die seismischen Wellen von der Unterfläche des Gletschers reflektiert werden. Die Methode ist ähnlich der heute vielangewandten „Echolot-Methode", welche nach dem Vorgang von A. Behm dazu dient, Meerestiefen zu messen. Sie ist aber

komplizierter als die Echolot-Methode, weil im Eis durch die Sprengungen nicht nur die longitudinalen Wellen wie im Wasser, sondern auch transversale Wellen erregt werden.

II. Schallbeobachtungen.

Nach dem Kriege wurde in verschiedenen Ländern Kriegsmaterial in großen Sprengungen vernichtet, mit welchen wissenschaftliche Arbeiten verknüpft wurden. In Deutschland übernahm die Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft die Aufgabe der wissenschaftlichen Verwertung. Eine „Sprengkommission" wurde gebildet, deren Vorsitzender H. Hergesell ist, der Direktor des Aeronautischen Observatoriums in Lindenberg. Auch ich gehöre der Kommission an, so daß das Göttinger Geophysikalische Institut an den Arbeiten beteiligt ist. Es werden von uns teils in Göttingen selbst, teils in Feldstationen Beobachtungen durchgeführt.

Für die Sprengkommission handelt es sich besonders auch um die Aufhellung der merkwürdigen Erscheinung des „anormalen Schalles", welche für die Physik der hohen Atmosphäre bedeutungsvoll ist. Da Lufterschütterungen infolge von Explosionen beobachtet werden, fällt die Arbeit in das Gebiet der Seismik; man kann geradezu von „Luftseismik" sprechen. Die theoretischen Überlegungen für die Erdseismik und für die Luftseismik sind einander sehr ähnlich. Auch in der praktischen Arbeit ergeben sich Verbindungen; es lassen sich für die Luftseismik teilweise dieselben Einrichtungen verwerten wie für die Erdseismik (photographische Registrierung, Zeitdienst). So können die Mittel, welche die Notgemeinschaft für die Göttinger Untersuchungen über Erdseismik zur Verfügung gestellt hat, den luftseismischen Arbeiten zugute kommen.

In der Umgebung eines Explosionsherdes beobachtet man zunächst den direkt kommenden Schall, der je nach den Wetterverhältnissen in verschiedenen Entfernungen unmerkbar wird. In größeren Entfernungen, 120—180 km, vom Herd taucht dann der „anormale Schall" auf, manchmal auf allen Seiten, meist nur auf einem Teil des Umfangs, oft mit scharfer Innengrenze. Ist von dem Herd ab gerechnet der direkte Schall schon unmerklich geworden, bevor der anormale Schall eintrifft, so gibt es dazwischen eine „Zone des Schweigens" Die Laufzeit des anormalen Schalles ist so groß, daß auf einen Umweg der Wellen durch die Höhen der Atmosphäre geschlossen werden

muß. Weshalb kehren die Wellen von dort oben zur Erde zurück? Das ist die Frage, welche den Beobachtungen des anormalen Schalles ihre wissenschaftliche Bedeutung gibt. Der Wind kann die wesentliche Ursache nicht sein, denn er wirkt einseitig, und es ist oft beobachtet worden, daß der anormale Schall auf entgegengesetzten Seiten, ja allseitig, in einem Ring zur Erde zurückkam. Die Organisation des Beobachtungsdienstes durch Hergesell hat hierfür mehrere neuere sehr schöne Beispiele geliefert. Auch Göttinger Beobachtungen darf ich hier erwähnen. Es muß also auf eine Besonderheit in dem Verhalten der Stratosphäre geschlossen werden, welche den Schall zum Herabgehen veranlaßt. Welches ist diese Besonderheit? Und in welchen Höhen tritt sie in Wirksamkeit? — Hier sehen wir das Arbeitsfeld der Forschung vor uns.

Die Arbeiten finden mancherlei Schwierigkeiten. Öfters werden sie nach mühevollen Vorbereitungen durch die Ungunst des Wetters gestört. Noch bedeutungsvoller ist, daß der Wind am Boden und in den Höhen der Atmosphäre mitwirkt. Wegen dieser Mitwirkung gestaltet sich das Phänomen von Fall zu Fall anders. Tritt dabei der anormale Schall nur auf einer Seite der Schallquelle auf, so fehlen uns bisher die Mittel, die Wirkung des Windes und die Wirkung jener Besonderheit der höheren Atmosphäre voneinander zu trennen.

Bei allen Unregelmäßigkeiten, mit welchen der anormale Schall auftritt, ist es für mein Empfinden in hohem Maße auffällig, daß er dennoch in den beobachteten Fällen überraschend gleichmäßige Züge erkennen läßt: Die Lage der Zone, in welcher er zur Erde kommt, und seine Laufgeschwindigkeit zeigen verhältnismäßig nur geringe Schwankungen! So wird man zu der Vorstellung geführt, daß jene Besonderheit der hohen Atmosphäre, welche die Hauptursache für das Herabkommen des anormalen Schalles ist, im Verlauf des ganzen Jahres und zu allen Tageszeiten sehr gleichmäßig wirksam ist. — Im Jahr 1925 stellte G. Angenheister das damals vorhandene Beobachtungsmaterial zusammen. Indem ich es im ganzen verarbeitete, kam ich zu dem Schluß, daß die Strahlen des anormalen Schalles in Höhen von etwa 30—40 km herabgebogen werden. Es scheint mir, daß die späteren Beobachtungen, insbesondere auch die Göttinger Beobachtungen, diesen Schluß noch nicht merklich geändert haben. Sollte er sich als richtig erweisen, so würde folgen, daß die Besonderheit der Atmosphäre in den Höhen etwa 30—40 km wirksam wird.

Überblickt man alle Einzelheiten der Erscheinungen, so ergeben

sich zur Erklärung der Besonderheit, soweit ich sehe, nur zwei Möglichkeiten: Entweder ändert sich die Gasbeschaffenheit der Atmosphäre nach oben hin, indem leichtere Gasbestandteile mehr zur Geltung kommen, oder die Temperatur steigt nach oben hin an, und zwar so, daß die Temperatur am Erdboden des öfteren, vielleicht immer, überschritten wird. Die erste der beiden Hypothesen wurde von Georg von dem Borne angenommen, der als erster die wesentlichen Züge des anormalen Schalles klarstellte. Er setzte voraus, daß nach oben hin der Wasserstoff immer stärker beigemischt ist. Aber schon die ersten Göttinger Beobachtungen und alle folgenden Erfahrungen widersprachen dieser Hypothese, denn sie führen zu unmöglich hohen Werten der Beimischung. So bleibt uns, wie es scheint, nur die Vorstellung, daß die Temperatur nach oben hin zunimmt. Von englischer Seite (Lindemann und Dobson) wurde eine Temperaturzunahme schon vor dem Gedanken an den anormalen Schall zur Erklärung des Verhaltens der Sternschnuppen angenommen, aber freilich erst für größere Höhen, als ich zur Erklärung des anormalen Schalles folgerte. Hier bestehen noch theoretische Schwierigkeiten, die jedoch überwindbar zu sein scheinen.

Die Erhöhung der Temperatur in der Atmosphäre nach oben hin scheint möglich, wenn man an Strahlungsvorgänge denkt. Es müßte angenommen werden, daß in den größeren Höhen die kurzwellige Sonnenstrahlung mehr zur Geltung kommt als unten. Dafür bestehen gute Gründe schon in dem Umstand, daß die Luft kurzwellige Strahlen stark absorbiert, so daß diese schon in größeren Höhen von der Atmosphäre aufgenommen werden. Vielleicht auch tritt die Ozonschicht in Wirksamkeit, auf deren Vorhandensein in Höhen von etwa 50 km von verschiedenen Forschern geschlossen wird. Das Ozon bildet sich aus dem Sauerstoff unter der Wirkung kurzwelliger Sonnenstrahlung und zerfällt auch wieder, so daß ein Gleichgewicht des Entstehens und Vergehens sich einstellt.

Sollte die höhere Temperatur in der oberen Atmosphäre, wie wir jetzt mit ziemlicher Sicherheit annehmen, wirklich vorhanden sein, so würde sie auch für das Polarlicht, für erdmagnetische Erscheinungen und bei der Radiotelegraphie zur Geltung kommen. Daß sie für das Verhalten der Sternschnuppen als wirksam angenommen wird, wurde schon erwähnt. So erscheint die Schallforschung mit einer Reihe von Problemen der Physik der hohen Atmosphäre verbunden, und man versteht die wachsende Aufmerksamkeit, welche ihr zugewandt wird.

Die Göttinger Mitarbeit, über die eine Reihe von Veröffentlichungen schon erschienen ist (Zeitschrift für Geophysik, Nachrichten der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen, Meteorologische Zeitschrift), geht darauf aus, durch möglichst scharfe Messungen Aufschluß über den Weg der Schallstrahlen zu gewinnen. Für diesen Zweck dienen zwei Arten von Instrumenten: rußschreibende und lichtschreibende Luftseismometer. Das rußschreibende Instrument besitzt einen Luftraum von zirka 500 Liter Inhalt, der durch eine Membran von rund 1000 qcm nutzbarer Fläche gegen die Außenluft abgeschlossen ist. Bei Lufterschütterungen bewegt die Membran mit etwa 200facher Vergrößerung eine Schreibfeder in ganz ähnlicher Art wie die rußschreibenden Erdseismometer. Das lichtschreibende Instrument hat einen Luftraum von etwa 2 Liter Inhalt und eine Membran von rund 7 qcm nutzbarer Fläche. Sie bewegt den photographierenden Spiegel, so daß zirka 2000fache Vergrößerung erreicht wird. Bisher haben wir für die Feldstationen nur das lichtschreibende Instrument verwendet, das in vier arbeitsbereiten Exemplaren vorhanden ist. Die zugehörigen Lichtschreiber und Beobachtungszelte sind einfach diejenigen, welche wir für die Erdseismik besitzen. — Man könnte glauben, daß wegen der viel stärkeren Vergrößerung das lichtschreibende Instrument dem rußschreibenden weit überlegen sei. Das ist aber keineswegs der Fall; denn zugunsten des rußschreibenden Luftseismometers spricht, daß es bedeutend feinere (ungefähr 5mal feinere) Kurven gibt, trotzdem für die lichtschreibenden Instrumente die Optik sehr sorgfältig gewählt wurde. Bei den guten Erfahrungen mit dem rußschreibenden Instrument planen wir, auch dieses felddienstfähig zu machen.

III. Gravimetrische Arbeiten.

Wir wissen heute, daß die Erdrinde auf einer plastischen Unterlage gewissermaßen schwimmt („Isostasie"). Wenn nun z. B. das Wasser an einer Stelle Massen abspült und sie an anderen Stellen auflagert, so gleichen sich die Massenunterschiede infolge der Nachgiebigkeit der Unterlage wieder aus. Wegen der inneren Festigkeit der Erdrinde und der großen Zähflüssigkeit der Unterlage sind aber doch im einzelnen Unterschiede zu beobachten, und diese haben sich als wichtig für die Untersuchung der Lagerung der Massen in der Erdrinde erwiesen. Es knüpfen sich daran geologisch und geophysi-

kalisch bedeutsame wissenschaftliche Fragen; die Praxis kann sie verwerten, um Aufschlüsse über die Lagerung der Schichten zu gewinnen.

Unter solchen Umständen war es für unsere Göttinger seismometrischen Untersuchungen der Erdrinde im hohen Grade wünschenswert, zur Ergänzung gravimetrische Untersuchungen durchzuführen. Die Hilfe der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft machte es möglich, damit im Frühjahr dieses Jahres zu beginnen. Es konnte ein Vier-Pendel-Apparat der Askania-Werke (Berlin), eine Riefleruhr hoher Vollendung und ein Beobachtungszelt für Pendelmessungen im Felde beschafft werden. Dazu trat zur Prüfung der Apparate auf den Temperatureinfluß im Geophysikalischen Institut Göttingen ein Raum, dessen Temperatur auf verschiedene Höhe reguliert und konstant gehalten werden kann.

Die Pendelmessungen machen sehr hohe Ansprüche an die Kunst der Beobachtung, daher stehen wir bei der Kürze der Zeit noch in der Anfängerschaft. Die Herren Doktorand H. Röpke und Dr. F. Lotze haben sich den Messungen gewidmet. Ihre Aufgabe war bisher, Apparate und Methoden kennenzulernen und Probemessungen durchzuführen. Doch wurden von vornherein eigene Aufgaben zur Weiterentwicklung der Methoden gestellt.

Herr H. Röpke hat die Photographie für die Messungen dienstbar gemacht. Dabei wurde sowohl die Methode der „Koinzidenzen" als auch die des direkten Vergleiches der Pendelschwingungen untereinander und mit den Schwingungen der Uhr berücksichtigt. Ergänzende Untersuchungen sind durchgeführt worden, um die Verzerrungen des photographischen Papieres und des Filmes festzustellen. Auch das Mitschwingen des Statives war in Betracht zu ziehen. — Die Arbeit ist vorläufig abgeschlossen und geht ihrer Drucklegung entgegen.

Herr Dr. F. Lotze stellte sich die Aufgabe, die Radiotelegraphie für die Pendelmessung nutzbar zu machen. Das wurde möglich, weil wir dank der Unterstützung durch die Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft eine Sendestation schaffen konnten. Diese ist von Herrn Dr. R. Kühnhold eingerichtet worden. Dr. F. Lotze benutzte die von Herrn H. Röpke ausgearbeiteten photographischen Methoden. Daran schlossen sich insbesondere Untersuchungen, die Selenzelle zu verwerten, um mit einem schwingenden Pendel ohne Gangstörungen ein Relais zu koppeln.

Die Prüfung der Temperaturabhängigkeit der Apparate ist begonnen worden. Als weitere Vorarbeit für die Feldbeobachtungen hat Dr. F. Lotze in einer Denkschrift die bisher bekannten gravimetrischen Untersuchungen in der näheren und ferneren Umgebung Göttingens zusammengestellt und vom geologischen Standpunkt aus bearbeitet.

Geophysikalische Untersuchungen in der freien Atmosphäre

Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. H. Hergesell, Lindenberg

Die Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft hat es sich angelegen sein lassen, die wissenschaftlichen Untersuchungen, die sich auf die Natur und Beschaffenheit des Erdkörpers beziehen, unter ihre besondere Fürsorge zu stellen. Auch die Lufthülle, die ein wesentlicher Bestandteil der Erde ist, bietet eine Reihe von interessanten Problemen, die alle in diesem Sinne geophysikalischer Natur sind. Ich werde im folgenden die verschiedenen Untersuchungsgebiete, die bis jetzt in Arbeit genommen sind, mehr oder weniger ausführlich behandeln, um einen Überblick über die bisherige und noch ausstehende Tätigkeit zu geben. Die Gelehrten, die bei Ausführung der Aufgabe tätig gewesen sind, werden jedoch in verschiedenen Aufsätzen selbst zu Worte kommen, so daß ich für Einzelheiten auf diese Sonderabhandlungen verweisen kann.

Unter die großen sozialen und wirtschaftlichen Aufgaben, welche die Notgemeinschaft ganz besonders in die Hand genommen hat, fällt auch die Strömungsforschung in der Atmosphäre. In einem Aufsatz, der bereits im Jahresbericht der Notgemeinschaft 1926 erschienen ist, ist ausgeführt worden, was in dieser Hinsicht im besonderen zu tun ist, und sind die verschiedenen Aufgaben näher festgelegt worden. Als Grundlage für alle Strömungsforschungen wurde es für notwendig erachtet, zunächst einmal die vorhandenen Windmesser oder Anemometer zu prüfen. Es war besonders notwendig, die Aufstellung, insbesondere die Unterbauten dieser Meßinstrumente zu untersuchen und, wenn möglich, zu vereinheitlichen. Zur Lösung der Aufgabe wurden zunächst für zwei Beobachtungsorte (Lindenberg und München) je zwei Gittertürme konstruiert und verfertigt, damit sie, die einen in der Norddeutschen Tiefebene, die anderen auf der Münchener Hochebene, Aufstellung erhielten, um verschiedene Anemometer auf ihrer oberen Plattform zur Prüfung ihres Verhaltens in der Atmosphäre untersuchen zu können. Diese Arbeit ist im Gange. Es kann heute schon gesagt werden, daß die dem Studium unter-

worfenen Gittermasten als Normalaufstellung dienen können, und daß eine Reihe von derartigen Normaltürmen, etwa 18—20, im ganzen Reiche Aufstellung finden sollen. Die Türme werden voraussichtlich die Höhe von 10 m erhalten. Die ebenfalls untersuchten Türme von 20 m Höhe sollen nicht ausgeschlossen werden. Es wird zu erwägen sein, ob nicht überall Türme verschiedener Höhe aufgestellt werden können, damit man imstande ist, den Verlauf der Windströmungen als Funktion der Höhe festzulegen. Diese Untersuchung ist deshalb von Wert, weil man in anderen Staaten mitunter andere Anemometerhöhen benutzt. Man ist dann imstande, verschiedene Höhenaufstellungen aufeinander zu reduzieren.

Von Anemometern sind bis jetzt in erster Linie die sogenannten Steffens-Hedde-Druckanemometer untersucht worden. Bei diesen hat sich eine Schwierigkeit herausgestellt. Die Röhren, welche von der Aufstellung des Anemometers nach unten führen, sind bei der gewählten Höhenlage des eigentlichen Windmessers sehr dem Wetter, d. h. verschiedenen Temperaturen usw., ausgesetzt. Die beiden Meßrohre, die vom Meßorgan oben zum Indikator nach unten führen, können leicht verschiedene Temperaturen zeigen, die die Messung schädlich beeinflussen. Das eigentliche Flüssigkeitsmanometer, welches unten im Turm die Druckdifferenz bestimmt, muß ebenfalls möglichst auf konstanter Temperatur gehalten werden. Dadurch werden auf alle Fälle Kosten in zum Teil beträchtlicher Höhe verursacht. An besonders exponierten Orten ist die Einhaltung der Temperaturkonstanz überhaupt kaum durchführbar. Als beste Lösung, diese Schwierigkeit zu umgehen, hat sich ergeben, an Stelle der Flüssigkeitsmanometer elastische Druckanemometer zu verwenden, die die oben erwähnten Nachteile infolge geringerer Volumentransporte in den Anzeigeelementen nicht zeigen.

Um die Strömungsverhältnisse in der Nähe der Erdoberfläche im Detail zu erforschen, wurde eine Reihe von einfach konstruierten Windfahnen und Rotationsanemometern beschafft, die von einem oder wenigen Beobachtern in richtigen Entfernungen über das Gelände verteilt und betätigt werden können. Sie werden durch eine einfache Einrichtung ausgelöst und gestoppt. Man erhält auf diese Weise ein Momentbild der Strombahnen und Windgeschwindigkeiten über dem zu untersuchenden Gelände. Ein Teil dieser Anemometer verdanken wir der Liebenswürdigkeit der Meteorologischen Zentralanstalt in Wien. Ein anderer Teil wurde selbst beschafft. Die Anemo-

meter wurden in dem Windkanal von Göttingen bzw. Potsdam durch Herrn W. Schmidt aus Wien und Herrn Duckert aus Lindenberg geeicht. Die Resultate dieser Untersuchung sollen demnächst veröffentlicht werden. Das Studium der turbulenten Bewegungen bzw. der Austauschströmungen ganz in der Nähe der Erdoberfläche hat Prof. W. Schmidt in Wien übernommen. Hier handelt es sich um wichtige Untersuchungen, besonders im Interesse der Landwirtschaft. Prof. W. Schmidt berichtet in dem Aufsatz auf Seite 49 über diese Studien.

Die Untersuchung der Turbulenzerscheinungen in den Schichten der Atmosphäre, die in größeren Höhen über der Erdoberfläche liegen, ist eine Aufgabe des Observatoriums Lindenberg. Mit Hilfe von Pilotballonen kann man durch genaue Beobachtungen der Schwankungen des steigenden Ballons auf die Turbulenzbewegungen schließen. Sowohl Visierungen mit zwei Theodoliten als auch Beobachtungen mit einem Entfernungsmesser sind in dieser Beziehung angestellt und bearbeitet worden. Es hat sich herausgestellt, daß eine photographische Registrierung der Visierung bzw. eine Filmaufnahme der Ballonbewegungen in möglichst kurzen Intervallen von großem Vorteil sein wird. Die Apparate hierfür sind zum Teil beschafft. Die Untersuchungen gehen weiter. Als ein wichtiges Hilfsmittel, die Turbulenzerscheinungen in der freien Atmosphäre zu studieren, erweisen sich die täglichen Fesselaufstiege des Observatoriums. Der Zug im Drahtkabel, das die Drachen oder Ballone hält, wird durch die turbulenten Luftströmungen beständig geändert. Die Schwankungen des Zuges sind ein gutes Merkmal für die Turbulenz und müssen beobachtet werden. Es erwies sich als notwendig, die Augenbeobachtungen dieser Schwankungen durch die Registrierung eines selbstaufschreibenden Zugmessers zu ersetzen, der mit der Aufstiegswinde des Drachenhauses im Observatorium verbunden ist und bei jedem Aufstieg selbständig den Zug im Drahtkabel verzeichnet. Gerade diese Studien haben erwiesen, daß eine solche Registrierung in fast allen Fällen genügt, um die turbulenten böigen Schichten der Atmosphäre in verschiedenen Höhenlagen erkennen zu lassen und ihren Charakter festzulegen. Hier liegen schon eine Reihe von sehr interessanten Beobachtungen vor. Welche Bedeutung diese Höhenschichten für den Luftverkehr haben, ist klar. Schon jetzt werden die unruhigen turbulenten Zonen durch Funksprüche seitens des Observatoriums an alle Flugwetterwarten mitgeteilt. Es ist natürlich geboten, möglichst viele

Wetterlagen zu erforschen. Es erwies sich hierbei als vorteilhaft, nicht nur unten an der Winde den Zug zu registrieren, sondern dieses auch oben im Drachen selbst zu tun. Eine besondere Einrichtung hierfür ist geschaffen worden.

Wir können auch für die allerhöchsten Schichten — und das sind die Niveaus, die unsere Registrierballone erreichen —, mit Hilfe von Doppelvisierungen und eines guten Entfernungsmessers die Turbulenz der Atmosphäre feststellen, wenn die visuelle Beobachtung durch den Bewölkungszustand des Himmels möglich ist. Auch hier sind sehr interessante Einzelfälle studiert worden. Besonders der Entfernungsmesser hat hier Tatsachen enthüllt, die etwa in Höhe von 6000 bis 12000 m liegen. Weitere Einzelheiten über diese Forschungen finden sich in dem Bericht von Dr. Duckert.

An den Registrierballonforschungen hat sich auch dank der Unterstützung der Notgemeinschaft die Bayrische Landeswetterwarte München in ergiebigem Maße beteiligt. Eine ganz besonders interessante Untersuchung ist von der genannten Anstalt im Bayrischen Gebirge vorgenommen worden. Es handelt sich um die Aufgabe, die Strömungserscheinungen in der freien, wenig von der Bergoberfläche beeinflußten Atmosphäre mit den den Bergeinflüssen stark unterliegenden, direkt dem Gebirge aufliegenden Schichten in Verbindung zu setzen. Zu diesem Zweck sind Messungen der Temperatur und Feuchtigkeit in diesem Gebiet von besonderem Wert. Für das Studium der Bergatmosphäre wird von Prof. Schmauß die Zugspitzenbahn ausgenutzt, die besonders gebaute Registrierapparate zu diesem Zweck mit bergauf und herab fährt. In der freien Atmosphäre sind Flugzeugaufstiege die Hilfsmittel. Auch hierüber findet sich ein kurzer Sonderbericht von Prof. Schmauß auf Seite 72.

Von der eigentlichen Strömungsforschung absehend, will ich noch über weitere geophysikalische Untersuchungen berichten. Es sind dieses zunächst die luftelektrischen Untersuchungen des Observatoriums Lindenberg. Besonders hervorzuheben ist bei diesen die Erkenntnis, welche große Bedeutung speziell die Feuchtigkeitsverhältnisse in den Grenzschichten der Luftkörper auf die Ausbreitung und Beeinflussung der elektromagnetischen Wellen haben. Auch die großen Herde der atmosphärischen Störung, die sich durch die verschiedensten Zusatzgeräusche im Telephon bemerkbar machen, sind zum großen Teil in derartige Grenzschichten zu verlegen. Ein eingehender Bericht von Dr. Duckert befindet sich auf Seit 79.

In England ist insbesondere von Dobson durch spektrographische Messungen der Ozongehalt der Atmosphäre beobachtet worden. Man kann vermittelst der Aufnahmen stets die Dicke der äquivalenten Ozonschicht bestimmen. Der genannte Forscher kam zu sehr interessanten Feststellungen, die es wünschenswert erscheinen ließen, diese Beobachtungen über einen größeren Teil der Erdoberfläche auszudehnen. Es wurden von England aus derartige Instrumente an Lindenberg, Valentia, Lerwick, Arosa und Abisko geliefert. Die Beobachtungen wurden sowohl hier als auch an anderen Orten regelmäßig ausgeführt. Die Ergebnisse zeigten interessante Korrelationen zwischen dem Ozongehalt und Luftdruckgebilden, Sonnenflecken und erdmagnetischen Erscheinungen. Speziell über die Lindenberger Ergebnisse berichtet Herr Duckert auf Seite 84.

Ich erwähne noch die von der Notgemeinschaft unterstützten Sonnenfinsternisexpeditionen im Jahre 1927, die als wesentliche Aufgabe Strahlungsmessungen bei, vor und nach der Sonnenfinsternis zum Zweck hatten. Auch diese Messungen haben guten Erfolg gehabt. In bezug auf Einzelheiten verweise ich auf die Berichte von Geheimrat Süring und Prof. Linke auf Seite 74—78. Die Strahlungsforschung wurde durch allgemeine Besprechungen zum guten Teil gefördert. Innerhalb der Notgemeinschaft wurde eine besondere Kommission für Strahlungsforschung gebildet.

Eine ganz bedeutende Arbeit ist jedoch durch die Untersuchungen des Laufes der Schallstrahlen in der Atmosphäre geleistet worden. Als Schallquelle wurden hierzu künstliche Explosionen benutzt. Es hat sich ergeben, daß die Schallstrahlen zum Teil in sehr große Höhen unserer Lufthülle hinaufdringen, dort durch physikalische Ursachen abgelenkt werden und wiederum zur Erdoberfläche zurückkehren. Es sind bereits eine Reihe von Arbeiten über die Resultate dieser Untersuchung erschienen. In einer kleinen Zusammenstellung für die Ohrbeobachter habe ich diese Arbeiten, wenigstens was das Hören der Explosionen angeht, zusammengefaßt. In einem Sonderbericht auf Seite 23 gebe ich über den jetzigen Stand der Untersuchungen näheren Bericht. Geheimrat Wiechert hat das große Verdienst, die Präzisionsapparate, die er für die Aufnahme der Erdwellen geschaffen hat, auch auf die Druckwellen der Atmosphäre in Anwendung gebracht zu haben. Sein Dahinscheiden, das wir alle, die die Freude hatten, mit ihm zu arbeiten, auf das Lebhafteste bedauern, verhindert leider, daß auch er, wie es seine Absicht war, seine Ideen und Erfahrungen schildert. Er

wollte dasselbe Gebiet im Anschluß an die großen seismischen Probleme behandeln, die sein Lebenswerk waren. Seine vorläufigen Aufzeichnungen, an deren Erweiterung zu einem vollen Überblick über seine achtjährigen Erfahrungen er gerade arbeitete, als der Tod ihn aus unserer Mitte riß, sind gleichwohl im Eingangsaufsatz wiedergegeben.

An die Untersuchungen Wiecherts schließen sich die im Aufsatz des Oberregierungsrats Ritter behandelten Probleme der Explosionswellen in der Luft eng an, die erhebliche praktische Bedeutung haben (Seite 43).

Aus dem Gesagten wird hervorgehen, daß die bedeutendsten geophysikalischen Kapitel in der Atmosphäre erfaßt sind. Die Forschungen sind überall verwickelter Natur. Um genaue und sichere Resultate zu erzielen, bedarf es der Zeit. Ich möchte hier im Namen aller Geophysiker, die an diesen Untersuchungen beteiligt sind, der Notgemeinschaft unseren Dank aussprechen für die Förderung, die sie diesen wichtigen Untersuchungen bisher hat zuteil werden lassen.

Im folgenden werden einzelne Forscher aus ihren Untersuchungsgebieten besonders berichten.

Die Erforschung der Schallausbreitung in der Atmosphäre als geophysikalisches Problem und aerologisches Hilfsmittel

Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. H. Hergesell, Lindenberg

Auf Anregung von Herrn Geheimrat Wiechert in Göttingen wurde im Jahre 1923 eine Gemeinschaftsarbeit begonnen, die dazu führte, die Schallausbreitung in der Atmosphäre und die Wellenausbreitung in der festen Erdrinde anläßlich von Explosionen zu untersuchen, nachdem schon während des Weltkrieges von Geheimrat Hergesell das Augenmerk der verschiedensten Wetterdienststellen auf dieses Problem gerichtet war, und auch schon früher die verschiedensten Ansichten über das Problem anläßlich von großen Explosionen und Vulkanausbrüchen auf Grund rein qualitativer Beobachtungen behandelt worden ist. Da es von vornherein abzusehen war, daß es ohne erhebliche finanzielle Unterstützung nicht möglich wäre, diese Untersuchung zu einem allumfassenden Ergebnis zu führen, wurde die Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft für diese Aufgabe interessiert. Durch das bereitwillige Entgegenkommen des Präsidenten der Deutschen Notgemeinschaft, Seiner Exzellenz des Herrn Staatsministers Dr. Schmidt-Ott, ist es gelungen, die Finanzierung in dem Maße zu ermöglichen, daß bis heute ein umfangreiches Material über dieses interessante Problem vorliegt.

Durch Einsetzung einer Kommission von Fachgelehrten wurde eine breite Basis für die Untersuchungen geschaffen. Die Kommission hat es sich seit ihrer Konstituierung zur Aufgabe gemacht, alle in Deutschland veranstalteten größeren Sprengungen, seien es solche der Militärverwaltung, die ältere Munitionsmengen auf den verschiedenen Truppenübungsplätzen vernichtete, seien es Gesteinssprengungen in den deutschen Mittelgebirgen, so auszubauen und zu verfolgen, daß die von der Explosion herrührenden Luft- und Bodenerschütterungen einer weitgehenden quantitativen Untersuchung unterzogen werden können.

Die untersuchten Probleme, speziell das Teilproblem der Ver-

folgung der Luftdruckwellen in ihrem Verlauf in der Atmosphäre, hat zu den verschiedensten Resultaten geführt, die alle darin einiggehen, daß die Ausbreitungsvorgänge große Einflüsse rein geophysikalischer Natur zeigen. Auf Grund der Beobachtungen sind dann umgekehrt eine Anzahl von Theorien entwickelt worden, die Rückschlüsse auf die Struktur der Atmosphäre suchen. Das ganze Problem ist ein äußerst verwickeltes und ist bis heute wohl in engere Möglichkeitsbereiche eingeschlossen worden, sieht aber einer endgültigen Erklärung aller Erscheinungen noch entgegen.

Bis Ende des Jahres 1927 wurden von der Kommission an 57 Tagen etwa 300 Sprengungen ausgenutzt und mit den verschiedensten Hilfsmitteln verfolgt. Genauere Daten finden sich in einer Arbeit in Band XVI des Jahrbuches des Aeronautischen Observatoriums Lindenberg. Die Verfolgung der Sprengwellen wurde nur zum Teil durch instrumentelle Hilfsmittel vorgenommen, zum anderen aber auch durch reine Hörbeobachtungen ergänzt. Speziell große Ohrbeobachtungsnetze wurden von mir an 23 Tagen eingerichtet. Es gelang, mit Hilfe des Aeronautischen Observatoriums, des Preußischen Meteorologischen Instituts Berlin und der Forstverwaltung, sowie durch andere geeignete Mitarbeiter zahlreiche gute Beobachter zu finden, die mit großem Eifer gearbeitet haben.

Die eigentliche Einrichtung des Netzes der Ohrbeobachtungsstellen war im wesentlichen der Organisation des Aeronautischen Observatoriums Lindenberg zu verdanken. Bei allen von Ohrbeobachtern verfolgten Sprengungen waren einige Hundert Beobachter im ganzen Reich eingesetzt worden. Die Auswahl der Stationen ist systematisch von Sprengung zu Sprengung nach den jeweils bei der Bearbeitung neu auftretenden Gesichtspunkten verändert worden, so daß jetzt speziell für den Sprengort Jüterbog über ein Netz von nahezu 450 Stationen verfügt wird, das den Anforderungen an die Jüterboger Sprengungen möglichst gerecht wird. Die Bearbeitung des erhaltenen Materials der gesamten veranstalteten Hörbeobachtungen ist am Observatorium Lindenberg im Zusammenhang mit der speziellen Wetterlage und deren Änderung begonnen, aber noch nicht definitiv abgeschlossen, da die Kritik des Materials große Sorgfalt und Mühe erfordert, um Fehlschlüsse zu vermeiden.

Es darf an dieser Stelle nicht verhehlt werden, daß gerade bei der Benutzung der Ohrbeobachtungen allerstrengste Kritik geboten ist,

da die subjektiven Täuschungen stark sein können und oft sind. Die in dieser Hinsicht gewonnenen Erfahrungen haben dazu geführt, besondere Vorsichtsmaßregeln, um subjektive Täuschungen zu vermeiden, einzuführen. Wir führen seit einigen Monaten nur noch Doppelsprengungen aus, bei denen zwei etwa gleichstarke Ladungen in einem den Beobachtern nicht bekannten Zeitabstand zur Detonation gebracht werden. Nur auf diese Art ist es möglich, ein Kriterium und damit einwandfreies Material zu erhalten und vor allem die Zuverlässigkeit der einzelnen Beobachtungsstellen zu prüfen. Eine erste Publikation des Gesamtmaterials bis Ende 1926 ist bereits erschienen (siehe H. Hergesell und P. Duckert, „Die Ergebnisse der Sprengungen zu Forschungszwecken in Deutschland vom 1. April 1923 bis zum 30. Dezember 1926"), die lückenlos alles nur irgendwie brauchbare Material sorgfältig geprüft enthält. Bei allen Sprengungen wurden nicht nur Ohrbeobachter eingesetzt, sondern auch registrierende Schallmesser, die die Aufgabe haben, die in der Atmosphäre erzeugten Wellen aufzuzeichnen; diese instrumentelle Verfolgung der verschiedenen Luft- und Erdwellen hat die einzelnen Mitglieder der Kommission dazu geführt, verschiedene Apparate zu konstruieren, die alle darauf hinzielen, ohne starke örtliche Beeinflußbarkeit ein Maximum der Empfindlichkeit für Luftdruckwellen verschiedenster meist kleiner Perioden zu geben. Ich will hier auf diese Apparate nicht näher eingehen, sondern verweise auf die schon genannte Publikation des Observatoriums und die einzelnen Arbeiten der Forscher. Die Kommission hat sich entschlossen, ein einheitliches Instrument für die Beobachtung der Schallwellen einzuführen, ohne in irgendeiner Weise die Eigenarbeit der Forscher zu hemmen. Dieser Undograph genannte Apparat wurde hauptsächlich durch die Bemühungen von Prof. Kühl in Potsdam entwickelt. Bei den letzten Sprengterminen standen etwa 20 Apparate zur Verfügung. Die Verteilung der einzelnen Instrumente über Deutschland wurde systematisch geändert mit dem Ziel, eine Aufstellungsverteilung derart zu finden, daß die charakteristischen Zonen der Schallausbreitung damit erfaßt wurden, aber so, daß trotzdem die einzelnen Stationen eine gewisse Kontrolle untereinander zuließen. Da erfahrungsgemäß das Wetter und besonders die Luftströmungen einen großen Einfluß auf die Ausbreitung des Schalls haben, wurde an den Sprengungstagen eine möglichst ausgedehnte Erforschung der Atmosphäre auch im vertikalen Sinne von Lindenberg angeordnet. Durch Registrier-

ballone, durch Pilotballone und durch alle anderen zur Verfügung stehenden Hilfsmittel wurde die Temperaturverteilung und auch die Windverteilung, soweit es überhaupt möglich war, bestimmt.

Im folgenden will ich, um ein möglichst ausreichendes Bild der allgemeinen Erscheinungen zu geben, zunächst die Resultate der Ohrbeobachtungen darlegen.

Die Schallstrahlen laufen, den allgemeinen physikalischen Gesetzen der Akustik entsprechend, strahlenförmig vom Schallherd nach allen Richtungen der Umgebung aus. Die Intensität des Schalles nimmt mit der Entfernung vom Herd gesetzmäßig wahrscheinlich etwas stärker als mit dem Quadrat der Entfernung ab, da eine gewisse Absorption längs des dichteren Erdmediums vorliegt. Nach einem gewissen Abstand, der in der Regel je nach den Wind- und Temperaturverhältnissen zwischen 25—100 km schwanken kann, außerdem natürlich auch etwas von der Stärke der Explosion abhängt, ist die Amplitude der Schallschwingung so klein geworden, daß keine Wellen mehr auf direktem Wege mit dem Ohr nachgewiesen werden können. Diese innere „Zone der normalen Hörbarkeit", wie wir sie schon jetzt nennen wollen, folgt den aus der Akustik bekannten Gesetzen, auch die Geschwindigkeit der Ausbreitung ist vollkommen von normalen Werten, die von der Temperatur und der Windunterstützung bzw. Hemmung abhängen, beherrscht, deren Darstellung allgemein durch eine Formel der Form

$$v = \sqrt{\frac{p}{s} \cdot \frac{c_p}{c_v}} + \text{Windkomponente in m/sec.}$$

erreicht wird, in der den einzelnen Buchstaben folgende Bedeutung zukommt:

p = der Luftdruck,
s = die Luftdichte,
c_p = die spezifische Wärme der Luft bei konstantem Druck,
c_v = dieselbe bei konstantem Volumen.

Als einzige Unregelmäßigkeit sei erwähnt, daß in unmittelbarer Nähe bis etwa 1 km Entfernung vom Schallherde eine etwas höhere Oberflächengeschwindigkeit festgestellt werden kann, die darin ihre Erklärung findet, daß das obige Gesetz nicht mehr streng gilt, wenn die durch die Explosion hervorgerufene Luftdruckänderung Δp erheblich gegenüber dem Luftdruck p wird, sondern daß dann nach Vor-

gängen von Riemann mit Stoßwellen zu rechnen ist. Hierauf einzugehen, würde den Rahmen dieser Darstellung überschreiten.

Auffallend ist nun eine Erscheinung, die schon in der Literatur erwähnt ist und vor allem im Kriege oft beobachtet wurde, daß nämlich nach diesem vollständigen Verschwinden der Aufnahmefähigkeit des Schalles in noch größeren Entfernungen vom Sprengherd der Schall plötzlich wieder mit erheblicher Intensität hörbar wird und dann weiter nach außen in der Intensität abnimmt, bis wiederum das Ohr die Wellen nicht mehr erfassen kann. Eine „äußere Zone der Hörbarkeit" hat sich eingestellt. Zwischen beiden erwähnten Zonen aber liegt eine vollkommen ruhige „Zone des Schweigens", um den in der Literatur üblichen Ausdruck beizubehalten. Eine Wiederholung der Erscheinung nach außen hin wurde ebenfalls gelegentlich beobachtet. Das nähere Studium der Geschwindigkeit, mit der der Schall scheinbar am Erdboden sich ausgebreitet hat, zeigt nun aber, daß diese in der neuen Zone viel geringer geworden ist, daß also der Schall gewissermaßen mit Verzögerung eingetroffen ist. Die mittlere Oberflächengeschwindigkeit des Schalles wird nur noch mit etwa 300—250, eventuell noch weniger, Metern in der Sekunde ermittelt. Nähere Untersuchungen lehren uns, daß der Schall einen anderen Weg zum Aufnahmeort gefunden hat, daß er auf einer gekrümmten Bahn durch die Erdatmosphäre gelaufen und hierbei relativ hoch in diese eingedrungen ist.

Warum tut er dies, wie liegt diese Bahn, welche Elemente bestimmen dieselbe? Das sind Fragen, die den Physiker, Geophysiker und Aerologen interessieren. Noch vielmehr aber interessiert die weitere, vorläufig noch als kühn anzusprechende Fragestellung: Wie sind die meteorologischen Verhältnisse in der oberen Atmosphäre, wenn der Schall unter bestimmten Verhältnissen und mit bestimmten scheinbaren Geschwindigkeiten gehört wird?

Diesem Fragenkomplex näherzukommen, ist der Zweck und Sinn der Explosionsstudien. Wir wollen weiter unten auf die resultierenden Probleme etwas näher eingehen. Die folgenden Zeilen sollen zunächst der Wiedergabe einer Reihe von Beispielen aus dem gesammelten Ohrbeobachtungsmaterial dienen, die der besseren Übersichtlichkeit halber durch graphische Darstellung unterstützt wird.

Betrachten wir zunächst die Abb. 1. Dieselbe stellt das Ergebnis des ersten Versuches eines groß angelegten Beobachtungsnetzes zur

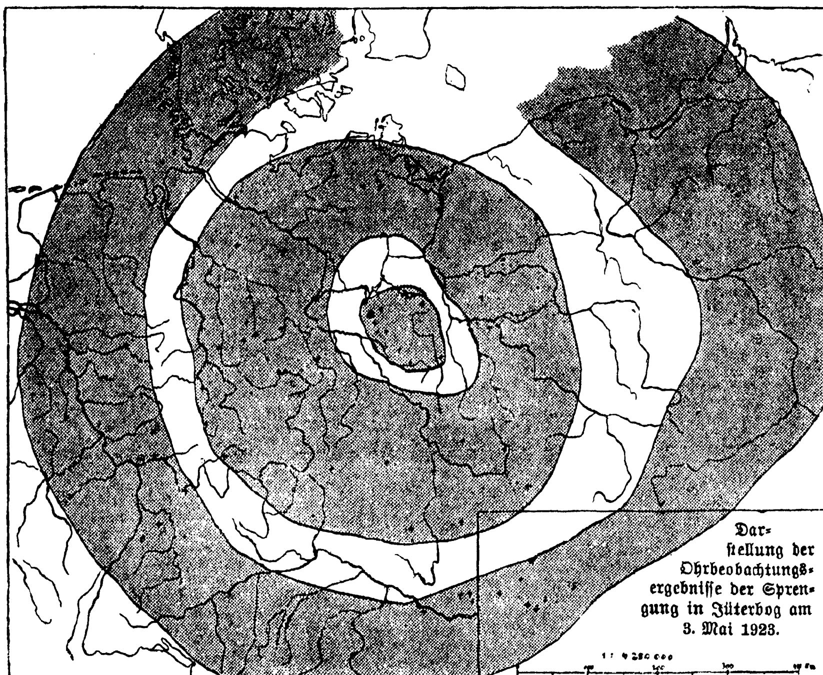


Abb. 1.

Aufnahme einer in Jüterbog am 3. Mai 1923 veranstalteten Sprengung von 1000 kg Munition dar. Das Material ist von Dr. Duckert ausführlich bearbeitet worden. Um den durch einen Vollkreis dargestellten Sprengherd herum sind die Beobachtungsstellen, an denen eine Schallerscheinung wahrgenommen worden ist, durch kleine Kreuze angedeutet worden. Aus den Notizen der Beobachter und einer Anzahl von absolut sicheren negativen Meldungen wurde auf eine Verteilung der vorgenommenen Zonen dergestalt geschlossen, wie sie durch schraffierte ringförmige Gebiete um den Sprengherd angedeutet sind. Ganz innen findet sich die „Zone der normalen Hörbarkeit", deren Ausdehnung nach Westen außerordentlich gering, etwa 20 km, nach Südosten am größten mit zirka 120 km beobachtet ist. Ringsherum findet sich die im Durchschnitt 40—50 km breite „Zone des Schweigens", in der absolut keine Schallerscheinung gehört wurde. Anschließend folgt eine ringsherum geschlossene „Zone anormaler Hörbarkeit", deren Mächtigkeit von 160—200 km Breite schwankt. Nach einer weiteren Zone des Schweigens tritt erneut eine Zone auf,

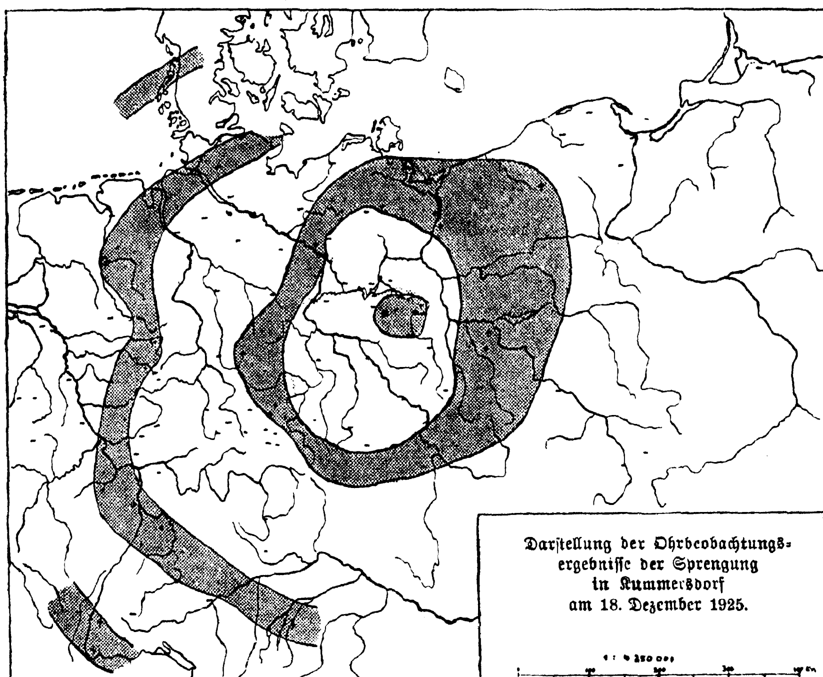


Abb. 2.

in der die Schallwellen vernommen werden konnten. Wahrscheinlich ist auch diese Zone in sich geschlossen; an den offen gelassenen Stellen fehlen Beobachtungsstationen.

Das Ergebnis dieses ersten Versuches war derart interessant, daß ein exakteres Studium einsetzen mußte. Dasselbe wurde durch die Benutzung von objektiver arbeitenden Registrierapparaten angestrebt, deren Studium und Verteilung zunächst ohne Ohrbeobachter geschah. Allmählich zeigte es sich aber, daß doch außerordentlich vielseitiges Material auch durch reine Ohrbeobachtungen neben Registrierstationen gewonnen werden konnte, und von Ende 1925 ab wurde wiederum verstärkt mit Ohrbeobachtungsnetzen gearbeitet. — Es sollen noch drei weitere Schallverteilungen gezeigt werden.

Abb. 2 gibt das Bild einer 5000-kg-Sprengung in Kummersdorf am 18. Dezember 1925. Die Munition war, im Gegensatz zu dem vorhergehenden Fall einer frei liegenden Ladung, im Erdboden verdämmt worden. Die Darstellungsart ist die gleiche wie oben, nur sind hier noch die absolut sicheren negativen Beobachtungen mit kurzen

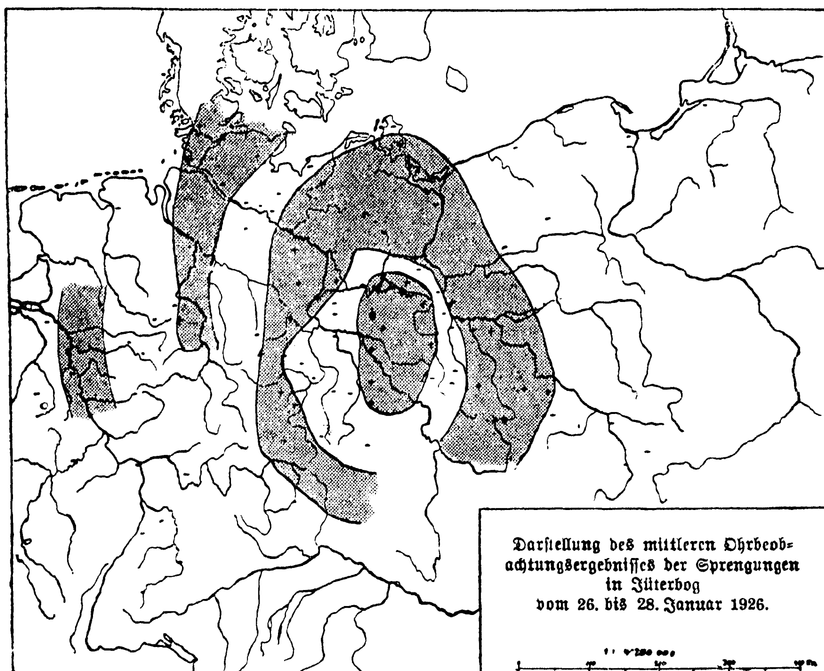


Abb. 3.

horizontalen Strichen gekennzeichnet. Auch hier ist eine nach Westen wenig (20 km), nach Osten stärker (80 km) ausgedehnte „Zone der normalen Hörbarkeit" zu erkennen, dann eine zwischen 50—150 km breite „Zone des Schweigens". Eine im Westen nur 50—75 km, im Osten wahrscheinlich bedeutend stärkere „Zone der anormalen Hörbarkeit" schließt sie ab. Der Ring ist aller Wahrscheinlichkeit nach ebenfalls geschlossen; in der Tschechoslowakei fehlen leider die Beobachtungen wie auch bei allen späteren Sprengungen vollkommen. Im Westquadranten sind noch weitere Hörbarkeitszonen eingezeichnet. Auch sie sind sicher verbürgt.

Abb. 3 stellt die mittlere Verteilung der Ohrenbeobachtungsergebnisse in der Sprengperiode 26.—28. Januar 1926 in Jüterbog dar, die von Dr. Duckert berechnet und entworfen ist. Auffallend ist hieran die im Westen wiederum geringe, nach Süden besonders starke Ausdehnung der normalen Hörbarkeitszone. Hierdurch wird der oben erwähnte Einfluß der Wetterlage deutlich gekennzeichnet. Die Zone des Schweigens wird wiederum durch eine erste äußere Hörbarkeits-

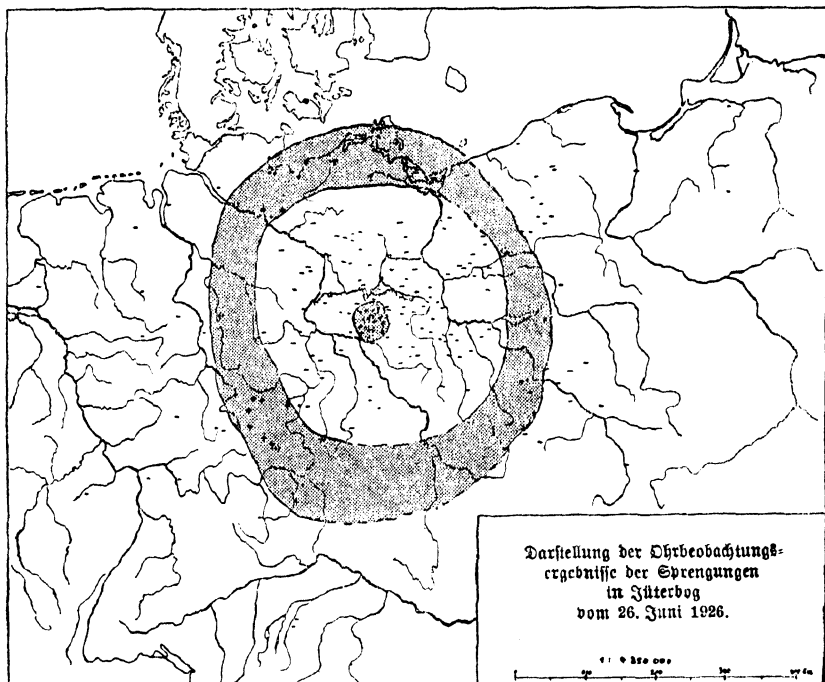


Abb. 4.

zone vollkommen abgeschlossen. Nach Westen sind wieder weitere Zonen beobachtet. Die eingetragenen Werte sind als sicher anzusprechen. Zweifelhafte und verdächtige Werte sind, wie vorn bereits erwähnt, ausgeschlossen worden.

Eine grundsätzlich abweichende Zonenverteilung ergibt die Abb. 4 der auch in anderer Beziehung sehr interessanten Sprengung am 26. Juni 1926 in Jüterbog, da bei ihr besonders der Einfluß von Temperatur und Wind studiert werden konnte. Trotz Windzunahme mit der Höhe ist eine fast kreisrunde Zonenverteilung zustande gekommen, ein Zeichen für den relativ geringen Windeinfluß auf die Bahn des Schallstrahles. Das Ergebnis wurde mit relativ schwachen Sprengungen erzielt.

Die „innere Zone der normalen Hörbarkeit“ ist diesmal fast vollkommen kreisrund mit einem Radius von nur 25—30 km. Eine äußerst breite „Zone des Schweigens“ umschließt sie. Erst in 180 bis 200 km Entfernung vom Sprengherd beginnt die ebenfalls sehr gut ausgeprägte „Zone anormaler Hörbarkeit“, deren Mächtigkeit

nur von 50—100 km schwankt. Weiter auswärts sind keine positiven Meldungen mehr erhalten worden.

Diese typischen Fälle werden genügen, um diese wichtige Seite der Schallerscheinung darzustellen. Inwiefern nun meteorologische Bedingungen an der Formgebung dieser Gebilde beteiligt sind, ist eine noch durch reine Beobachtungen nicht geklärte Frage. Der Einfluß der untersten Schichten ist jedenfalls auf keinen Fall das einzig ausschlaggebende Moment in dieser Hinsicht. Zweifelsfrei erwiesen ist durch Ohrbeobachtungen zunächst nur, daß bei den Wellen in der „Zone normaler Hörbarkeit" die Lautstärke der Schallwahrnehmung wesentlich von dem Vorhandensein einer atmosphärischen Trennungsschicht in Bodennähe, einer Luftkörpergrenze, derart abhängig ist, daß sie, analog wie bei den elektromagnetischen Wellen, die Amplitude derselben schwächt, wenn sie zwischen Explosionsherd bzw. Beobachtungsstelle am Boden aufliegt oder ihm sehr nahe kommt, daß sie aber in anderen Fällen bei geeigneter Lage auch die Schallenergie reflektorartig sammeln und damit die Lautstärke vergrößern kann. Schwieriger wird es schon, auch nur den geringsten Einfluß auf die Laufzeiten a priori herauszulesen. Die Einflüsse hierauf liegen scheinbar in bedeutend höheren Regionen.

Wie war nun die Wetterlage, die den oben wiedergegebenen Verteilungstypen entspricht?

Am 3. Mai 1923 mittags liegt hoher Druck von über 767 mm über der Nordsee und England. Der Druckgradient nach Osten und Südosten über Deutschland hinweg ist äußerst gering, etwa 1 mm Hg Druckfall auf 150 km Horizontalentfernung. Über der nördlichen Ostsee liegt schwacher tiefer Druck. In ganz Nordwestdeutschland fällt der Druck langsam. Im Südosten steigt er langsam, in Ostpreußen etwas schneller. Die Windbewegung ist in Bodennähe, aus Nordwest kommend, mit Stärken von 5—8 m/sec. Deutschland stand am Tage des Schallversuches auf der Rückseite einer inzwischen verflachten Depression unter dem Einfluß eines großen Kälteeinbruchs mit mehreren Staffeln. Die Vertikalschichtung der Atmosphäre sei aus Aufstiegsergebnissen und Wolkenbeobachtungen durch den bereits in den „Mitteilungen des Observatoriums Lindenberg" September 1924 wiedergegebenen Schnitt veranschaulicht. Hierin sind Einbruchsflächen schräg und Abgleitflächen gerade schraffiert. Die dick ausgezogenen Linien stellen potentielle Lufttemperaturen dar. Die beiden Schnittlinien der durch Schraffierung angedeuteten Inversionen mit dem

Erdboden begrenzen im Süden und Südosten die eine das in Abb. 1 gezeichnete Gebiet normaler Hörbarkeit, die andere südlichere, die erste äußere Zone anormaler Hörbarkeit.

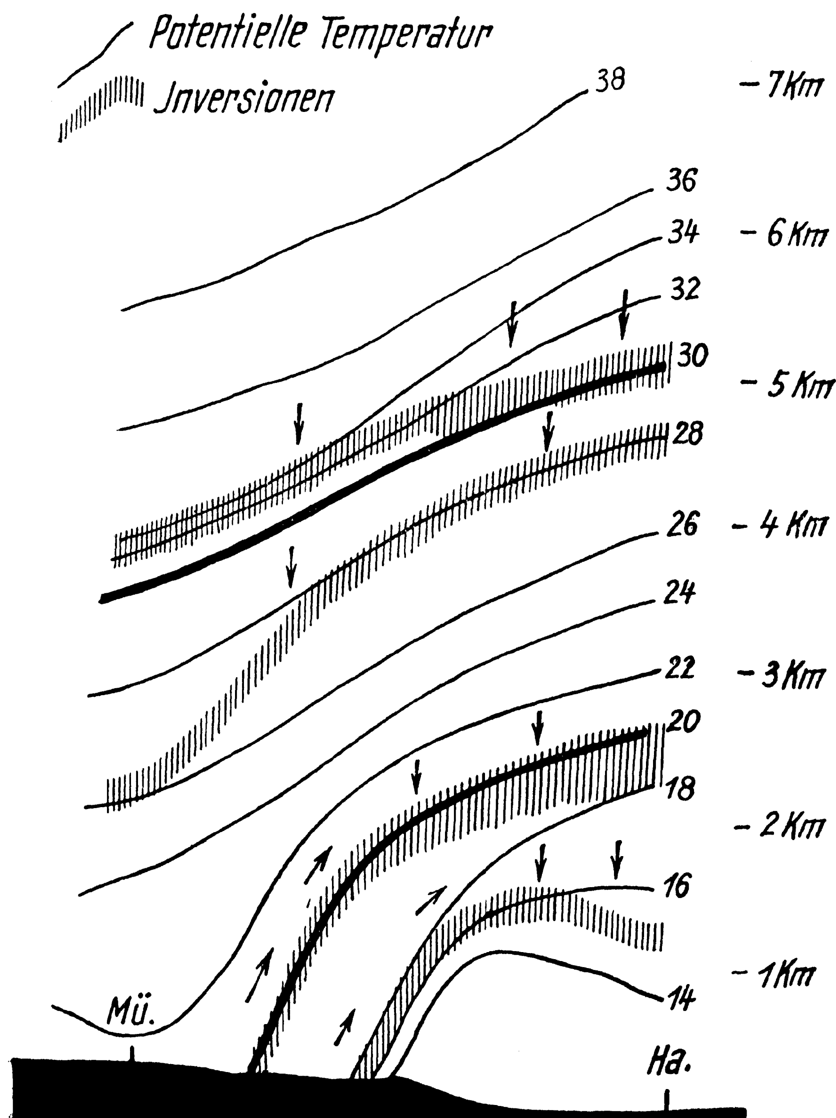


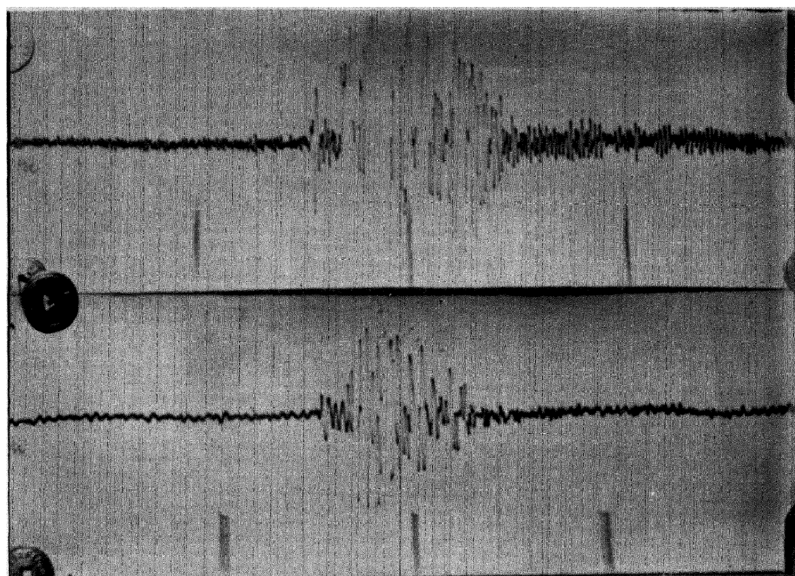
Abb. 5.
Schnitt durch die Atmosphäre am 3. Mai 1923.

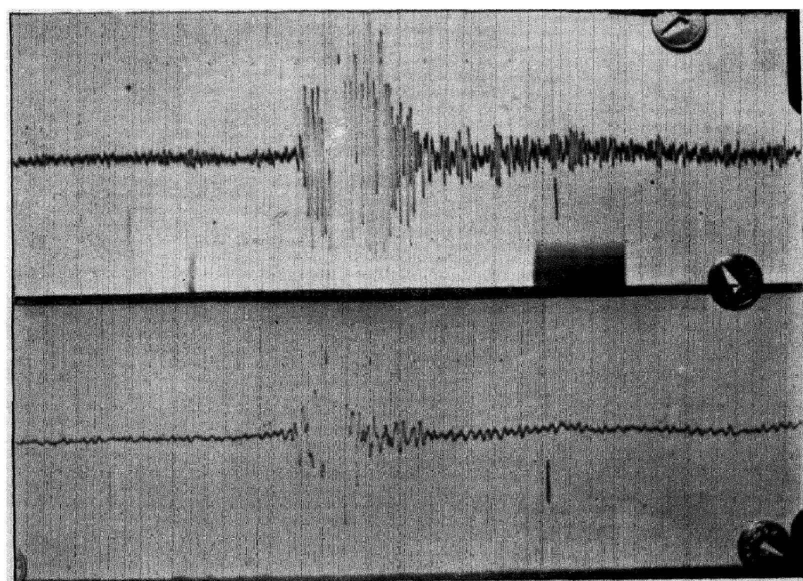
Entgegen der Windrichtung nach Nordwesten also ist die Erstreckung der inneren Zone der Hörbarkeit sehr gering. Ein offensichtlicher Einfluß auf die anderen Begrenzungen der äußeren Hörbarkeitsbereiche ist aus den Ohrbeobachtungen ohne weiteres nicht zu ersehen.

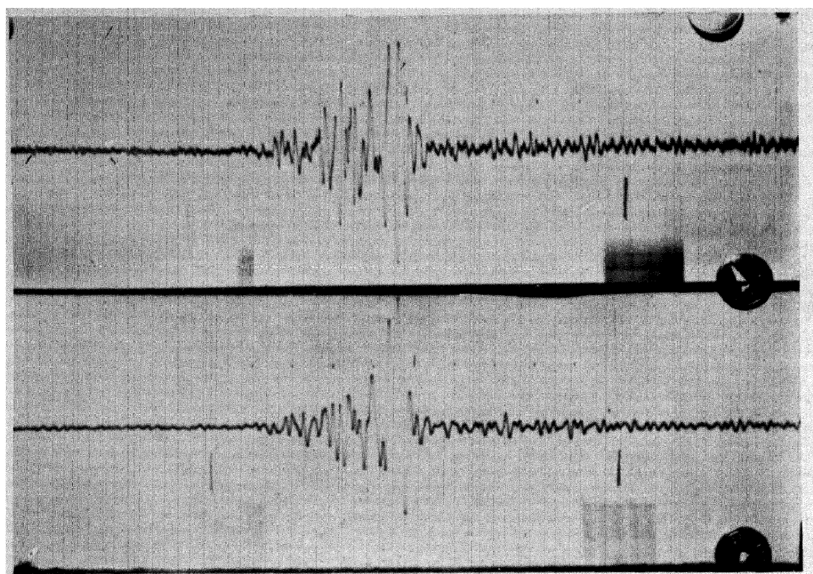
Das Bild der Hörbarkeitsverteilung entspricht also in großen Zügen durchaus der Wetterlage. Wenn man von der Gestalt der äußeren Zone zunächst einmal absieht, da sie durch mannigfache andere Elemente bedingt ist, so kann man doch behaupten, daß die weite Erstreckung der inneren Zone normaler Hörbarkeit nach Südosten sicher auf eine die Schallwellen zusammenhaltende Wirkung der genannten Unstetigkeitsfläche zurückzuführen ist. Einfacher und einheitlicher sieht die Sprengbeobachtungsverteilung am 26. Juni 1926 in Abb. 4 aus. Wir haben zunächst wieder im Westen, diesmal aber auch im Südwesten Deutschlands höheren Druck von zirka 768 mm. Der Gradient des Luftdrucks ist relativ schwach, etwa 1 mm pro 200 km, nach Osten abnehmend. Der Druck ist in den letzten Stunden bis auf eine etwa 250—300 km breite Rinne, deren Mittellinie sich etwa von Rügenwaldermünde über Küstrin, Dahme nach Bamberg erstreckt, allgemein noch angestiegen, ohne aber die Gegensätze zu verschärfen. Die Windbewegung ist am Boden schwach aus Westen kommend, um in der Höhe mehr nach Nordwest zu drehen und sich über 2000 m bis auf 10—12 m/sec. zu verstärken. Die allgemeine Entwicklung der Wetterlage war folgende. Nachdem am 23. und 24. Juni sich ein über Nordsee und Norwegen gelegenes Zyklonensystem nach Osten in Bewegung gesetzt hat, ist Deutschland in Rückseitenwetter gelangt. Am 25. verstärkte sich im Westen Europas das Hochdruckgebiet wieder und dringt nach Osten vor, eine Erwärmung und einheitlichere Schichtung der Atmosphäre ist die Folge. Am Sprengtag haben sich zwar schon kleine Druckströmungen gebildet, die von langsam aus Norden zuströmender Kaltluft herrühren und vereinzelt zu leichten Niederschlägen führen; die Schichtung der Atmosphäre speziell über dem Schallgebiet ist aber recht stabil und gleichmäßig, sie wird etwa in 2500 m Höhe durch eine Abgleitfläche gekennzeichnet.

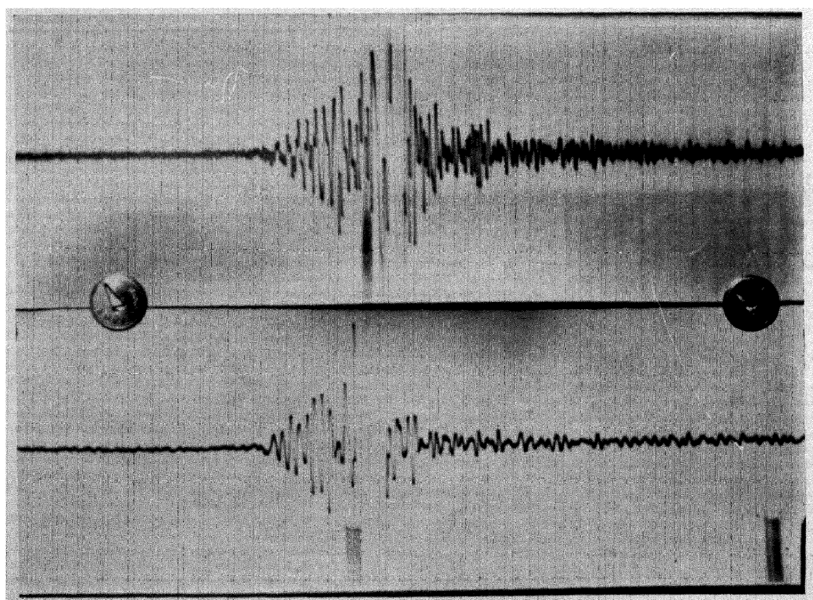
Die gleichmäßige Ausbildung des Hörbarkeitsgebiets ist absolut mit der Gleichmäßigkeit der atmosphärischen Struktur in Übereinstimmung.

Die Wetterlage zu den anderen beiden wiedergegebenen Verteilungen zeichnet sich durch ein zerrissenes Bild aus, indem im Aus-









breitungsgebiet des Schalles selbst Diskontinuitäten bis zum Boden gelangen, und die, besonders während der Januarversuche 1926 auch durch eine leicht und schnell veränderliche dünne kalte Luftschicht am Erdboden keinen einheitlichen Charakter in bezug auf den Sprengherd als Mittelpunkt mehr zeigen. Die wenig konzentrischen Bilder der Schallbeobachtungen finden hierdurch eine Erklärung[1]).

Die Ohrbeobachtungen allein gewähren trotz allem aber, besonders wenn die Laufzeiten, wie dies meistens der Fall ist, sehr unsicher sind, keinen allzu großen Einblick in das Geheimnis der atmosphärischen Akustik. Sie bilden aber ein wertvolles Ergänzungsstück zu den objektiven Registrierbeobachtungen des Schalles, deren Erweiterung und Ausbau die Arbeiten der Notgemeinschaft besonders ins Auge faßten. Die Registrierergebnisse haben uns allmählich die Wege gezeigt, um das Geheimnis zu lüften, und auch neben dem Forschungszweck einen praktischen Wert aus den Schallbeobachtungen zu ziehen.

Ohne nähere Erläuterung mögen zunächst die folgenden Kurven, die mit zwei verschiedenen Undographen aufgenommen sind, auf den Leser wirken. Alle Kurven sind Registrierungen von Explosionen die in Jüterbog veranstaltet worden sind und in Lindenberg registriert wurden. Es ist also gleiche Herdentfernung bei allen Kurven vorhanden, es liegen weiter gleiche Sprengmengen vor, nämlich je 50 kg Sprengstoff, nur die Tageszeit und auch die Wetterlage ist eine andere. Je zwei dicht untereinander stehende Figuren unterscheiden sich weiter nur dadurch, daß die Undographen bei nahe gleicher Empfindlichkeit eine etwas verschiedene Eigenschwingung ihrer empfindlichen Membran besitzen.

Die entsprechenden Aufzeichnungen von zirka 20 über ganz Deutschland verteilten Stationen, verbunden mit den genauen Zeitangaben des Eintritts der Schallwelle, geben uns nun ein wahrscheinliches Bild der Schallbahnen und geben uns Mittel und Wege an, um unter gewissen Annahmen auf die Beschaffenheit und Struktur des vermittelnden Mediums, der Lufthülle der Erde Schlüsse zu ziehen. Die Bearbeitung benutzt im übrigen ganz ähnliche Methoden, mit denen auch die Seismik zu arbeiten gewohnt ist.

Es ist hier nicht der Ort, um die Entwicklung unserer Anschauungen,

[1]) Eine ausführliche Bearbeitung dieser Fälle siehe H. Hergesell und P. Duckert: „Die Ergebnisse der Sprengungen zu Forschungszwecken in Deutschland vom 1. April 1923 bis 30. September 1926". Die Arbeiten des Aeronautischen Observatoriums Lindenberg, Bd. XVI.

die während der Schallstudien stattgefunden hat und sich in der Literatur in Arbeiten von Angenheister, von dem Borne, Emden, Kölzer, Wiechert und anderen spiegelt, aufzuzeichnen. Es soll nur ein Bild entworfen werden, das, wenn es neuen Prüfsteinen standhält, ein beachtenswertes Resultat und zugleich ein wertvolles Hilfsmittel der aerologischen Forschung darstellt.

Wie weiter oben schon kurz erwähnt worden ist, fordert zunächst die Tatsache, daß die Schallwellen in größeren Entfernungen mit einer beträchtlichen Verspätung eintreffen, eine Erklärung. Es ist klar, daß nur ihre scheinbare mittlere Oberflächengeschwindigkeit einen niedrigeren Wert besitzt, daß aber die wahre Ausbreitungsgeschwindigkeit normal ist, d. h. den weiter oben angeführten Schallformeln gehorcht. Es muß also der zurückgelegte Weg ein größerer sein als der horizontalen Herdentfernung entspricht. Mit anderen Worten: Die Schallstrahlen dringen in die Atmosphäre ein und durchlaufen eine gekrümmte längere Bahn innerhalb derselben. Durch die Aufstellung von 3 Apparaten in einem nahezu gleichseitigen Dreieck mit einem Abstand derselben von ein paar hundert Metern kann man unter der Annahme, daß die Lufthülle in dem Bereich der 3 Apparaturen homogen ist, den horizontalen und auch den vertikalen Einfallswinkel der Schallstrahlen bestimmen. Der Versuch ist mit einer längeren Basis am Observatorium Lindenberg, mit kurzer Basis von der Reichsanstalt für Erdbebenforschung in Jena angestellt worden. Die Resultate waren in beiden Fällen zufriedenstellend und sind als unmittelbarer Beweis für die Existenz derartiger gekrümmter Bahnen in der Atmosphäre anzusehen. Sehr schwierig ist die Untersuchung der wirklichen Gestalt der Schallbahnen, die offenbar von der wahren Schallgeschwindigkeit in den verschiedenen Höhenschichten der Atmosphäre abhängt. Da letztere, wie bekannt, von der Windgeschwindigkeit und der Lufttemperatur abhängt, kann nur eine genaue Kenntnis dieser beiden Elemente zur richtigen Erkenntnis der Schallbahnen führen. Rechnerisch sind unter gewissen Annahmen der Temperatur- und Windschichtung der Atmosphäre derartige Bahnen konstruiert worden. Ich verweise hier auf die Arbeiten von Wiechert, Angenheister, Gutenberg und anderen. Die Temperaturverhältnisse und die Luftströmungen sind uns durch direkte Messungen, wenn auch nicht in jedem Einzelfalle, so doch im allgemeinen, bis etwa 30 km bekannt. Darüber hinaus können wir uns aus gewissen Anzeichen Vermutungen, wenn auch nicht mit großer Sicherheit, anstellen. Wie

ist es nun zu erklären, daß die Schallstrahlung, die hoch in den Raum hinaufgeht, wieder absteigt und den Erdboden erreicht?

Wie ist dieses oberste durch die Schallstrahlen erreichte Medium, diese Umkehrschicht beschaffen? Die Umkehr kann nur in einer Schicht geschehen, in der die Schallgeschwindigkeit möglichst schnell ansteigt und Werte erreicht, die der Größe in den unteren Schichten sich nähert und sie übertrifft. Für die Schallgeschwindigkeit v haben wir aber die Formel gegeben:

$$v = \sqrt{\frac{p}{s} \cdot \frac{c_p}{c_v}} + \text{Windkomponente m/sec.}$$

Zwei der Faktoren, die v ändern können, sind die in $\frac{p}{s}$ enthaltene Lufttemperatur T und die Windkomponente W. Wir wollen zunächst den Temperatureinfluß behandeln. In unseren Breiten nimmt in den unteren Schichten die Temperatur zunächst ab, erreicht in etwa 12 km den niedrigen Wert von etwa —55° und bleibt nun unter leichten Schwankungen in der Nähe dieses Werts, um dann ganz allmählich bis etwa 30 km auf etwa —45° anzusteigen. Was darüber hinaus geschieht, wissen wir nicht. Auf jeden Fall kann die soeben beschriebene Temperaturkurve die allgemeine Erscheinung des Umkehrens der Schallstrahlen in einer Lufthülle von etwa 30 km Dicke nach unten zu nicht erklären.

Auch die Vermehrung der Windkomponente hilft nicht viel, da in den in Frage kommenden Schichten die Beobachtungen die erforderlichen großen Werte von etwa 30—40 m/sec nicht ergeben, nur in seltenen Ausnahmen sind solche Werte wohl vorhanden. Da die anormale Zone der Hörbarkeit fast stets auftritt, kann uns das letztere zur Erklärung nicht nützen. Wir müssen also die Umbiegungsstelle der Schallstrahlen in einer Schicht suchen (vielleicht sind es auch mehrere Schichten), die höher als 30 km liegt, vielleicht in 40 km und darüber. Soll dieses allein durch die Temperaturverhältnisse geschehen, so müssen wir in den hohen Schichten, die wir durch unsere Instrumente nicht mehr erreichen können, ein starkes plötzliches Ansteigen der Temperatur annehmen, das die Schallgeschwindigkeit so vergrößert, daß der Schallstrahl zunächst horizontal wird und dann auch durch die Temperaturverteilung zum Absteigen kommt. Ich will nicht verhehlen, daß man auch durch eine Annahme der Verteilung der Windgeschwindigkeiten in den höchsten Schichten zum Ziele kommen

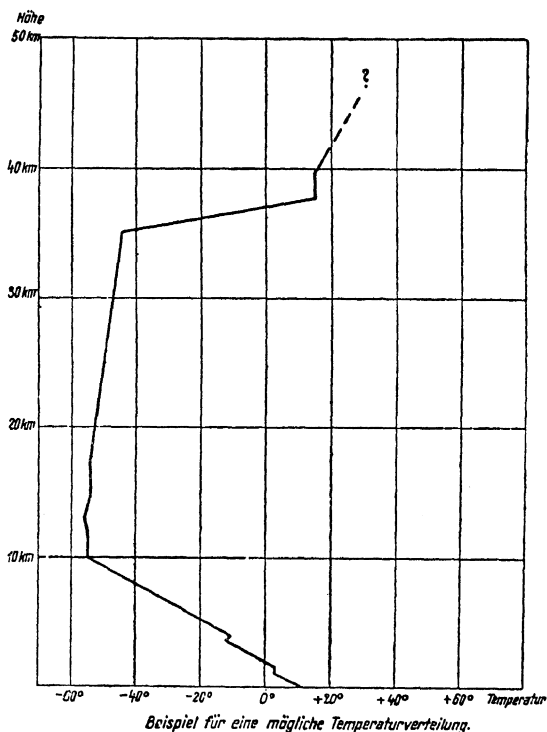
kann. In und über der 35-km-Schicht müßte eine ständige Ostwindzone mit großer Geschwindigkeit vorhanden sein, gegenüber einer West- bis Nordwestwindbewegung in und über der Stratosphäre. Unsere Strömungsmessungen durch die Beobachtungen über das Aufleuchten und Verschwinden von Meteoren und Feuerkugeln weisen vielleicht auf eine entsprechende Windzone in den höchsten Schichten der Atmosphäre hin, doch zeigen unsere Beobachtungen über die Strömungen in der Stratosphäre bis zu den höchsten erreichten Schichten der Stratosphäre nicht die regelmäßige Erreichung einer Kompensationszone in den unter der Ostwindzone liegenden Schichten.

Geheimrat Wiechert in Göttingen hat wohl zuerst die kühne Hypothese aufgestellt, daß in den erwähnten Höhenschichten, also zwischen 30 und 40 km Höhe eine solche Temperaturzunahme existieren muß, die das Umbiegen der Schallstrahlen erklären kann. Wir müßten von etwa 35 km Höhe ab ein scharfes Ansteigen der Temperatur von —40° C bis zu Temperaturen annehmen, wie sie jeweils an der Erdoberfläche herrschen, also eine Temperaturzunahme zulassen, die etwa 45—60° beträgt. Die Windverhältnisse in allen Schichten der Atmosphäre haben dann nur einen sekundären Einfluß, die wohl bestimmend auf das Aussehen der Rückkehrzone sein können, aber für deren fast ständige Ausbildung nicht verantwortlich sind. Ich möchte mich dieser Wiechertschen Hypothese anschließen, doch ist nicht zu verhehlen, daß die Annahme jener gewaltigen Temperaturzunahme in großer Höhe noch erwiesen werden muß. Eine Bestätigung durch direkte Messungen wäre sehr erwünscht.

Die Temperaturzustandskurve der Abb. 6 soll nur ein rohes Bild der Verhältnisse, die die Erklärung liefern können, geben. Wie insbesondere die Temperaturverhältnisse sich in unsere Atmosphäre über jener hohen Sprungschicht sich gestalten, bleibt völlig unsicher. Die Schallbahnen, die sich bei Annahme einer soeben geschilderten Temperaturverteilung bei zwei verschiedenen Ausgangswinkeln ergeben, zeigt die Abb. 7.

Es sei mir bei dieser Gelegenheit gestattet, der Frage näherzutreten, ob es möglich ist, große Höhen, etwa von 30—50 km, durch Ballone oder irgendwelche anders gearbeiteten Meßkörperträger zu erreichen, damit wir die dort herrschenden Temperaturen direkt ausmessen können. Wie schon erwähnt, sind die höchsten Schichten, die unsere Temperaturanzeiger erreicht haben, etwa 30 km. Wir gelangten in diese Höhen mit geschlossenen Gummiballonen, deren Wand eine solche

Ausdehnungsfähigkeit besitzt, daß trotz der enormen Dünne der Gummiwand des Ballons ein Platzen erst in jenen größten Höhen stattfindet.



Beispiel für eine mögliche Temperaturverteilung.

Abb. 6.

Es muß hier erwähnt werden, daß alle jene Höhen vor dem Kriege erreicht wurden. Nach dem großen Weltereignis haben die von allen noch

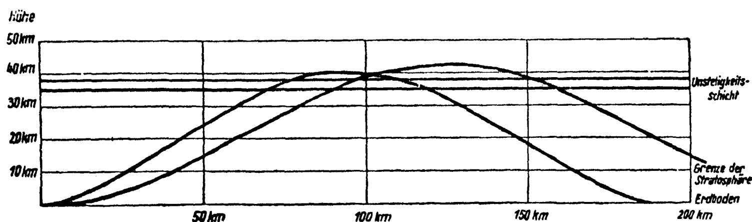


Abb. 7.

vorhandenen Gummifirmen gelieferten Ballone kaum eine Höhe von 20 km passiert. Dieses Versagen unserer Experimente hängt ohne

Zweifel mit der Gummiqualität und Gummitechnik unserer großen Gummifirmen zusammen. Das Fehlen von gutem, abgelagertem Gummi ist vielleicht eine Ursache. Ich hege trotz aller Schwierigkeiten die Hoffnung, daß wir allmählich wieder auf den alten Vorkriegszustand kommen werden. Ich bin ferner der Meinung, daß wir in Zukunft durch Übergang zu kleineren Ballonen, als bisher bei unsern Registrieraufstiegen verwandt wurden, durch Verringerung der emporgehenden Last, zur Schonung der Gummiwände, zu noch größeren Maximalhöhen kommen werden. Vielleicht können auf diese Weise Höhen von 35—40 km noch erreicht werden. Aber sicher ist dieses nicht. Schauen wir deshalb nach den anderen Hilfsmitteln aus, die zur Überwindung der Schwierigkeiten vorgeschlagen wurden. Ich nenne zuerst den Raketenschuß. Es kann wohl keinem Zweifel unterliegen, daß mit einem derartigen Geschoß sehr große Höhen erzielt werden können. Auch kann die Rakete infolge ihrer Abschußtechnik ohne Zweifel Registrierapparate empornehmen, die nicht durch die großen Beschleunigungen der Zerstörung ausgesetzt werden, die beim Emporsenden von Geschossen aus irgendwelchen Geschützen auftreten müssen, wenn wirklich Niveaus von 40—50 km erreicht werden sollen. Ich bin aber der Meinung, daß eine Rakete, wenn sie 30—40 km emporsteigen solle, ein solch ungefüger Apparat werden muß, daß in absehbarer Zeit nicht die Kosten für ein solches Experiment aufzubringen sind, daß aber auch ein Raketenfahrzeug, unbemannt, nur mit Registrierapparaten versehen, bei seiner Rückkehr zur Erdoberfläche solche Gefahren für die Erdoberflächenbewohner bringen muß, daß niemand die Verantwortung auf sich nehmen wird. Wir haben noch die Möglichkeit, Geschosse zu verwenden, die in ihren Geschützen eine solche Anfangsgeschwindigkeit erlangen, daß sie bis zu 40—50 km empordringen. Ich bin selbst kein Ballistiker, habe mir aber von unseren besten Fachleuten sagen lassen, daß die großen Anfangsgeschwindigkeiten, die zur Überwindung des atmosphärischen Widerstandes unbedingt notwendig sind, die Mitnahme von feinen Registrierapparaten unmöglich machen; sowohl die Anfangsbeschleunigungen der Translation als die Rotationsbeschleunigung wirken sicher zerstörend. Von einer Mitnahme von Meßapparaten zur Bestimmung der Temperatur kann also nicht die Rede sein. Die Frage, ob trotzdem eine Bestimmung der Temperatur durch Schießversuche möglich ist, ist von großer Wichtigkeit. Ich möchte hier die Ergebnisse einer Diskussion, die in kleinerem Kreise stattfand, kurz zur Sprache bringen, um so mehr, als gerade

die Schallgeschwindigkeit, die in diesem Aufsatz eine so große Rolle spielt, der ausschlaggebende Faktor ist.

Der Grundgedanke wurde zuerst von Wiechert ausgesprochen. Wenn man mit einem Steilgeschütz etappenweise immer wachsende Höhen anschießt, also etwa bei 10 km beginnt und in Stufen von 5—10 km höher geht, wenn man ferner mit dem Geschoß in seiner Maximalhöhe sichtbare Explosionen hervorbringt, deren Schall unten beobachtet wird, muß es möglich sein, durch exakte Beobachtung der Schallgeschwindigkeit nicht zu dünne Schichten anormaler Temperaturverteilung, insbesondere solche mit so abnormen hohen Temperaturen, aufzufinden und den Temperaturwert wenigstens in der Größenordnung zu bestimmen.

Es kann allerdings möglich sein, daß die hypothetische Sprungschicht eine so geringe Mächtigkeit hat, daß bei den gewählten Höhenetappen ihr Einfluß auf die Schallgeschwindigkeit völlig verschwindet.

Kehren wir zu dem Ausgangspunkt unserer Betrachtungen zurück. Nach dem Gesagten ist es zweifellos, daß wir durch die Annahme einer hohen Sprungschicht der Temperatur den Weg der Schallbahnen in unserer Atmosphäre erklären können. Zur weiteren Befestigung der Hypothese ist die Fortsetzung unserer Schallexperimente unbedingt notwendig. Sowohl die allgemeinen Ursachen als sekundäre Erscheinungen werden hierdurch näher untersucht und werden unsere Anschauungen weiter befestigen. Wenn wir eine ganz sichere Grundlage über die Zustandskurve der Temperatur bis zu großen Höhen gewonnen haben werden, dann können die Schallexperimente auch der Aerologie helfen und uns zu Messungen und Beobachtungen befähigen, die gerade die Zustände jener höchsten Luftschichten festlegen, die wir heute noch nicht durch Meßapparate erreichen können.

Gerade das Studium der Wellenbewegungen in unserer Lufthülle weist uns neue Bahnen der Forschung, die sich vielleicht in ganz neue Gebiete erstrecken, wenn wir nicht nur die Wellen des gasförmigen Mediums unserer Lufthülle berücksichtigen, sondern auch die elektrischen Schwingungen ins Auge fassen.

Auch hier hat das Studium, besonders der kurzen Wellen, zu überraschenden Resultaten geführt. Auch die elektrischen Wellenstrahlen gehen in große Höhen, werden hier umgebogen und kehren wieder in die niederen Schichten zurück. Bei den kurzen elektrischen Wellen ist es sogar gelungen, nachzuweisen, daß ihre Bahnen in großen Höhen den Erdball umkreisen können und dann erst zu unseren Be-

obachtungsinstrumenten zurückkehren. Die Höhenschichten, in welchen die Umkehr dieser Wellenstrahlen stattfindet, scheinen allerdings beträchtlich höher zu liegen, als wir bei den Schallstrahlen gefunden haben. Doch sind die gefundenen Zahlen wohl nur der Größenordnung nach bestimmt. Die Möglichkeit einer gemeinsamen Ursache ist nicht unbedingt zurückzuweisen. Bei den elektrischen Wellen kann es natürlich nicht eine Temperaturinversion in großer Höhe sein, die umbiegend wirkt, sondern eine weiter zurückliegende Ursache, die erst die große Temperaturerhöhung hervorbringt. Englische Forscher, wie Dobson, Lindemann und andere, haben bereits die Ozonbildung in höheren Schichten als diese gemeinsame Ursache angesprochen. Wie dem auch sein mag, alle Erscheinungen, die wir in den höheren und höchsten Schichten beobachten können, weisen darauf hin, daß hier etwas los ist, was die bisher angenommenen einfachen Verhältnisse über den Haufen wirft.

Was das ist, wollen und müssen wir mit allen Mitteln erforschen.

Arbeiten über die bei Explosionen entstehende Luftstoßwelle

Oberregierungsrat Dr. F. Ritter, Berlin

Der Zerfall eines Sprengstoffs erfolgt bei seiner Detonation so schnell, daß die gasförmigen Zerfallsprodukte unmittelbar nach der Detonation noch im wesentlichen das Volumen des festen Sprengstoffes haben. Es entsteht also ein hocherhitzter und hochgespannter Gasball, der in schroffem Übergang von Luft normaler Temperatur und Dichte umgeben ist. Damit sind die Bedingungen für das rein mechanische Entstehen einer Luftstoßwelle gegeben. Diese Luftstoßwelle geht erst in größerem Abstand vom Sprengherd in eine gewöhnliche Schallwelle über, in der die Dichteänderung der Luft verschwindend klein gegen die Normaldichte ist. In der Nähe des Sprengherdes pflanzt sich die Luftstoßwelle nach eigenen Gesetzen fort und ändert mit dem Weiterschreiten nicht nur ihre Intensität, sondern auch ihre Form und Geschwindigkeit. Zwischen diesen die Welle kennzeichnenden Größen und dem ursprünglichen Gasball bestehen Beziehungen, die noch nicht befriedigend geklärt sind. Die Intensität der Luftstoßwelle ist noch in größerem Abstand vom Sprengherd so hoch, daß Menschen und Bauten beschädigt werden können. Die Erforschung der Luftstoßwelle ist daher nicht nur für die theoretische Akustik von Bedeutung, sondern sie erweitert auch unsere theoretischen Anschauungen über den detonationsartigen Zerfall der Sprengstoffe. In praktischer Hinsicht kommt der Erforschung der Luftstoßwelle unmittelbare Bedeutung zu, bei der Planung von Anlagen, von denen regelmäßig Luftstoßwellen ausgehen oder zufällig ausgehen können, und bei Schadenersatzansprüchen nach Explosionen.

Als erster hat W. Wolff (Wiedem. Ann. 69. 329. 1899) unternommen, bei größeren Sprengungen Geschwindigkeit, Intensität und zeitlichen Ablauf der Luftstoßwelle in verschiedenen Entfernungen vom Explosionsherd zu messen. Die von Wolff benutzten Registrierapparate erlaubten aber nicht, gerade den wichtigsten ersten Teil der Welle genügend genau zu bestimmen. Seine Versuche wurden 1909

vom Verfasser wieder aufgenommen. Aber alle Versuche litten erheblich darunter, daß man auf gelegentliche Sprengungen angewiesen war, die als Hauptzweck einen andern als die Untersuchung der Luftstoßwelle verfolgten. Günstige Vorbedingungen für diese Untersuchungen wurden erst dadurch geschaffen, daß die Notgemeinschaft der deutschen Wissenschaft es ermöglichte, Sprengungen mit dem ausgesprochenen Zweck vorzunehmen, die vom Sprengherd ausgehenden Wellenbewegungen messend zu verfolgen. Schon die erste mit Unterstützung der Notgemeinschaft am 3. Mai 1923 erfolgte Sprengung brachte für die Erforschung der Luftstoßwelle einen bemerkenswerten Erfolg. Für diese und die folgenden Sprengungen waren zwei Arten von Apparaten gebaut.

In größerer Nähe des Sprengherdes konnte man Registrierapparate, die den zeitlichen Ablauf der Luftstoßwelle aufschrieben, nicht benutzen, weil die auftretenden Kräfte zu groß sind und zerstörend wirken. Um wenigstens den Maximaldruck zu messen, benutzte E. Bollé (Jahresbericht IV der C T R 1924/25, Seite 226. Verlag Chemie) Messingdosen, deren Deckel aus Bleiblech passender Stärke bestand und durch den Impuls der Welle kalottenartig eingedrückt wurde. Die Dosen wurden durch statische Drucke und durch Explosionsdrucke in der Bombe geeicht. Die Höhe der entstandenen Kalotte war ein Maß für den aufgetretenen Druck.

Um auch nahe am Sprengherd den zeitlichen Verlauf und die Geschwindigkeit der Luftstoßwelle zu erhalten, sollen demnächst Aufnahmeapparate benutzt werden, die den Druck in Stromschwankungen umsetzen, die ihrerseits durch einen in größerem Abstand geschützt aufgestellten Oszillographen registriert werden. Die absolute Auswertung der Oszillogramme soll mit Hilfe von Bleimeßdosen erfolgen, die am Orte der Aufnahmeapparate stehen.

Geschwindigkeit, Intensität und zeitlicher Ablauf der Luftstoßwelle in größeren Abständen von 500—2500 m, in besonderen Fällen bis 7000 m, wurden durch eine Reihe mechanischer Registrierapparate gemessen. Der einzelne Apparat bestand aus einem hölzernen Kasten, in dessen Vorderwand eine kreisrunde, aus Sperrholz hergestellte Membran eingesetzt war. Alle Holzteile waren durch Imprägnieren mit Lack oder Paraffin gegen den Einfluß der Feuchtigkeit geschützt. Die Membran wurde durch den Luftdruck durchgebogen, und ihre durch eine besondere Öldämpfung gedämpfte Bewegung wurde vergrößert auf eine von einem Uhrwerk gedrehte, berußte Trommel im

Innern des Kastens aufgeschrieben. Das Uhrwerk konnte durch einen Elektromagneten ausgelöst und angehalten werden. Auf die Trommel konnten außerdem mit Hilfe eines Schreibmagneten Zeitmarken aufgetragen werden. Der Schreibmagnet war für diesen besonderen Zweck eigens gebaut worden und registrierte sowohl die Unterbrechung als auch das Schließen des Stromes mit sehr geringer Verzögerung. Die einzelnen Kästen hatten verschieden starke Membranen und waren in der dadurch bestimmten Ordnung in wachsendem Abstand vom Sprengherd aufgestellt. Die Auslösemagnete der Uhrwerke und die Schreibmagnete lagen in je einer Kreisleitung. Man konnte so alle Uhrwerke gleichzeitig auslösen oder anhalten und mit den Schreibmagneten den Moment der Detonation durch Zerreißen einer über den Sprengstoff gelegten Leitung sowie zwei durch einen Fallapparat in bekanntem Intervall ausgelöste Zeitmarken auf allen Trommeln gleichzeitig verzeichnen.

Die Eichung der Registrierapparate wurde in folgender Art vorgenommen. An die Membranseite des Kastens wurde eine starke Holzplatte angeklemmt, die gegenüber der Membran eine flache runde Ausdrehung hatte. Der vor der Membran liegende Hohlraum wurde durch einen ringförmigen aufgepumpten Gummischlauch sorgfältig abgedichtet, unter einen gemessenen positiven oder negativen Luftdruck gesetzt und die unter diesem statischen Druck erfolgende Durchbiegung der Membran registriert. Darauf wurde die Dämpfungskurve der Membran aufgenommen. Wenn man nun die bei der Sprengung aufgenommene Zeit-Weg-Kurve der Mitte der Membran zweimal differentiiert, kann man den zeitlichen Verlauf der Kraft, die in der Luftstoßwelle auf die Membran gewirkt hat, nach der bekannten Bewegungsgleichung unmittelbar bestimmen. Die Differentiierung der aufgenommenen Kurve macht nun aber bei dem ersten steilen Anstieg öfters Schwierigkeiten, so daß gerade die Bestimmung des besonders wichtigen Maximaldruckes nach dieser Methode bei großen Werten oft unsicher ist. Deshalb werden die Registrierapparate auch dynamisch geeicht. Hierzu wurde auf die oben erwähnte, vor die Membran gestellte Holzplatte ein Zylinder gesetzt, in dem sich zwischen verstellbaren Anschlägen ein Kolben verschieben ließ. Mit dieser Einrichtung änderte man in dem vor der Membran liegenden Hohlraum den Luftdruck dem Betrag und der Dauer nach so weit, bis die dabei auf der Trommel registrierte Kurve denselben Anstieg und Ausschlag zeigte wie die bei der Sprengung aufgenommene.

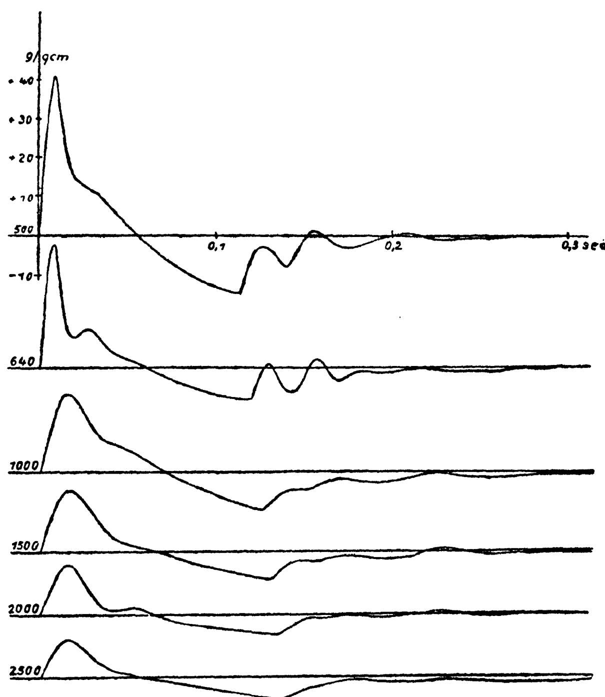
Die Zeitdauer des Druckes wurde dadurch bestimmt, daß man mit Hilfe von zwei zwischen Kolben und Anschlägen angebrachten Kontakten die Zeitdauer der Kolbenbewegung mit dem Schreibmagnet auf die Trommel auftrug. Die Höhe des Druckes lag zwischen den isothermisch und adiabatisch berechneten Werten und hing von der Zeitdauer ab. Der Druck wurde als Funktion von Kolbenweg und Zeitdauer dadurch bestimmt, daß man in den Raum, in dem der Druck schwankte, senkrecht von unten her ein kurzes Glasrohr einführte, das am andern Ende auf ein sehr kurzes Stück rechtwinklig umgebogen und eben abgeschliffen war. Diese kreisförmige Öffnung tauchte in ein Gefäß mit Wasser. Vor der unter Wasser liegenden Öffnung hing an zwei Kokonfäden ein dünnes Glasplättchen. Erhöhte man in dem Gefäß den Luftdruck über dem Wasser, so legte sich das Glasplättchen fest gegen das Glasrohr und bewegte sich erst dann von dem Glasrohr ein wenig fort, wenn auf der andern Seite durch das Hineinstoßen des Kolbens der Luftdruck größer wurde. Die Einrichtung erlaubte den Höchstwert des unter dem Kolben entstehenden Drucks auf etwa 0,01 g/cm^2 genau zu bestimmen.

Zur Überwachung auf dem Felde konnten die Membranen mit Hebel und Gewicht in der Mitte belastet werden. Die Belastung in der Mitte steht zu der gleichmäßigen Belastung, die dieselbe Durchbiegung der Membran erzeugt, in einem konstanten Verhältnis.

Die Figur zeigt den zeitlichen Druckverlauf bei einer 1000-kg-Sprengung in den links von den Kurven angegebenen Abständen vom Sprengherd. Die Kurven sind so erhalten worden, daß in den Originalregistrierungen lediglich die Ordinaten auf denselben Maßstab für den Druck umgezeichnet sind. Der wahre, durch Differentiieren der Originalkurven ermittelte Druckverlauf zeigt also gegenüber den Kurven der Figur namentlich gewisse Phasenverschiebungen. Im übrigen lassen aber die Kurven den eigenartigen Druckverlauf in der Luftstoßwelle gut erkennen. Auf einen jähen Anstieg des Drucks folgt eine länger dauernde Periode negativen Drucks, in der, wenigstens bei größeren Sprengungen, die auf oder dicht über dem Erdboden erfolgen, ein nochmaliger plötzlicher Druckanstieg zu bemerken ist. Dieser tritt auch bei Sprengstoffen auf, die zu einer Nachexplosion keine Veranlassung geben können, und kommt augenscheinlich dadurch zustande, daß die aus dem detonierten Sprengstoff hervorschießenden Gase am Erdboden reflektiert werden und über dem Sprengherd ein zweites Knallzentrum bilden. Daraus erklärt sich auch die Er-

scheinung, daß man bei größeren Detonationen in der Regel zwei Knalle kurz nacheinander hört.

Die untereinander stehenden Kurven zeigen, daß die Luftstoßwelle sich allmählich abflacht und in eine gewöhnliche Schallwelle übergeht. Die letzte in 2500 m aufgenommene Welle zeigt auch bereits die Neigung, in einen aus drei halben Sinusschwingungen bestehenden



Wellenzug überzugehen, wie man ihn in großem Abstand vom Sprengherd zuweilen als ersten oder auch einzigen eintreffenden Wellenzug beobachtet.

Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Luftstoßwelle war auch bei den größten bisher vorgenommenen Sprengungen in 500 m Abstand vom Sprengherd schon auf die normale Schallgeschwindigkeit gesunken. Dagegen lief der zweite Druckanstieg längs der Erdoberfläche mit etwas höherer Geschwindigkeit, die sich asymptotisch der normalen Schallgeschwindigkeit näherte. Der Grund ist in dem erheblich über der Erdoberfläche liegenden Zentrum dieser Welle zu

suchen, die längs dem Radius gleichfalls schon mit normaler Geschwindigkeit läuft.

Der in der Luftstoßwelle gemessene positive Maximaldruck war dem Abstand vom Sprengherd in größeren Entfernungen recht genau umgekehrt proportional. In kleinen Abständen trifft dieses Gesetz nicht zu. Die hier von E. Bollé bei Sprengladungen von 960 kg ermittelte Abnahme zeigt die folgende Tabelle.

Abstand m	Druck in kg/cm² gemessen am 7. Oktober 1925	9. Oktober 1925	23. Oktober 1925
20	5,21	5,8	4,6
40	2,10	2,2	1,92
100	0,26	0,29	0,23

Von großem Interesse ist der Übergang aus der Luft zum Sprengstoff selbst, d. h. die Ermittelung des Druckes an der Sprengstoffoberfläche. Von diesem Druck wissen wir nur, daß er enorm hoch ist und vielleicht bis gegen 100 000 Atm. beträgt. In der Tat können wir über den Zustand von Gasen bei derartig hohen Drucken und gleichzeitig hohen Temperaturen nichts aussagen. Es scheint aber möglich zu sein, einen Vorstoß in dieses dunkle Gebiet zu unternehmen, wenn es gelingt, den Druckverlauf und die Geschwindigkeit der Luftstoßwelle in großer Nähe des Sprengstoffes zu messen. Ein Versuch, aus den jetzt schon vorliegenden, in der obenstehenden Tabelle enthaltenen Messungen den Druck an der Oberfläche des Sprengstoffes zu bestimmen, ergab Drucke in der Größenordnung von 30 000 kg/cm². Dieser Wert muß aber zu niedrig sein, weil die Voraussetzung einer dicht geballten Ladung nicht vollkommen zutraf.

Die Forschungsarbeiten bei den mit Hilfe der Notgemeinschaft vorgenommenen Sprengungen haben auch unmittelbaren praktischen Nutzen gebracht. Wir können Größe und Verlauf des Luftdrucks, den die Detonation einer bestimmten Sprengstoffmenge in einer bestimmten Entfernung erzeugt, sicherer als früher voraussagen. Im besonderen haben wir wesentlich bessere Grundlagen dafür gewonnen, bei Schadenersatzansprüchen festzustellen, ob eine bestimmte Gebäudebeschädigung durch die Fernwirkung einer Explosion zustande gekommen sein kann.

Die Ziele der Turbulenzforschung in freier Luft

Prof. Dr. W. Schmidt, Wien

I. Beziehungen zur Theorie der Witterungskunde und der Hydrodynamik.

Eines der ausschlaggebendsten Kennzeichen der Luftbewegung im Freien ist ihre Unbeständigkeit, das fortwährende Schwanken nach Richtung und Geschwindigkeit, sichtbar werdend im Wiegen der Halme, im Schwanken der Bäume, in der Bewegung von Wimpeln, Windfahnen, dem Aufwirbeln von Staub usw. Dafür, wie sich das in den Registrierungen äußert, gibt die charakteristische untere Kurve von Abb. 1 ein gutes Beispiel: Es ist dies eine Wiedergabe der Aufzeichnungen eines der gebräuchlichen Böenschreiber, nur mit einer größeren Zeitskala geschrieben als gewöhnlich. Der Abstand zweier kleiner Strichmarken am unteren Rand entspricht 10 Minuten. Man sieht deutlich, wie die Windgeschwindigkeit eine Reihe von Stößen oder Schwällen zeigt, manchmal 2 bis 3 in der Minute, der Höchstwert der Augenblicksgeschwindigkeit öfter doppelt so hoch wie der Tiefstwert. Dabei sind die Ausschläge (vergleiche die Ausführungen über die Prüfung von Anemometern im Abschnitt III), gerade bei den kürzesten Schwankungen wesentlich durch Trägheit gefälscht, herabgesetzt.

Und doch, so uralt derartige Erfahrungen sind, wurden sie noch nicht bis ins einzelne erforscht und zergliedert. Es ist das eben jene besondere Strömungsform, die man jetzt als „ungeordnet", „turbulent" bezeichnet, und die im Versuchsraum nur bei hohen Durchflußgeschwindigkeiten oder großen Durchmessern der durchströmten Rohre auftritt. Die klassische Hydrodynamik kannte sie nicht, sie wurde vor etwas über 40 Jahren in ihrer Wesenheit entdeckt, aber erst im laufenden Jahrhundert hat man begonnen, sie eingehend im Laboratorium zu studieren.

Daß bei dieser Sachlage die Untersuchung der Strömungen im großen und im kleinen nicht Hand in Hand ging, mag einigermaßen verwunderlich erscheinen — hätte doch die Theorie der beiden Wissenszweige, der Hydrodynamik wie der Meteoro-

logie, wesentlichen Vorteil davon. In dieser hängt zum Beispiel, abgesehen von den später zu erwähnenden für die Praxis wichtigen Fällen, mit der Turbulenz die Ausbildung der Winde in verschiedenen Höhen über dem bremsenden Erdboden zusammen. Bei nicht turbulenter Bewegung, also jener, die nach den Gesetzen der klassischen Hydrodynamik bloß unter dem Einfluß der inneren Reibung der Luft erfolgte, würde man von dieser Bremsung nur bis etwa 1 oder 2 m Höhe etwas verspüren — in Wirklichkeit sind es 500—1000 m im Mittel —; Tiefdruckgebiete und Wirbelstürme könnten sich nicht in der Art bilden, wie sie es tatsächlich tun, und insbesondere würden sie, da auch die Vertikalbewegungen in großem Maßstab ausblieben, auf keinen Fall jenen Wechsel der Bewölkung, der Niederschläge usw. aufweisen, den wir als sinnfälligstes Bestimmungsstück der „Witterung" aufzufassen gewohnt sind. Die Art, in der die Strahlungsvorgänge in die Temperaturverhältnisse auf der Erde eingriffen, wäre wesentlich anders: wir hätten, wenn auch nur in einer Luftschicht geringer Mächtigkeit mit vielfach größeren Temperaturschwankungen zu rechnen, als sie jetzt sind, der Gegensatz zwischen Land- und Seeklima wäre ungeheuer verschärft. Das dürfte genügen, um den gewaltigen Einfluß der besonderen eingangs erwähnten Strömungsform vor Augen zu führen.

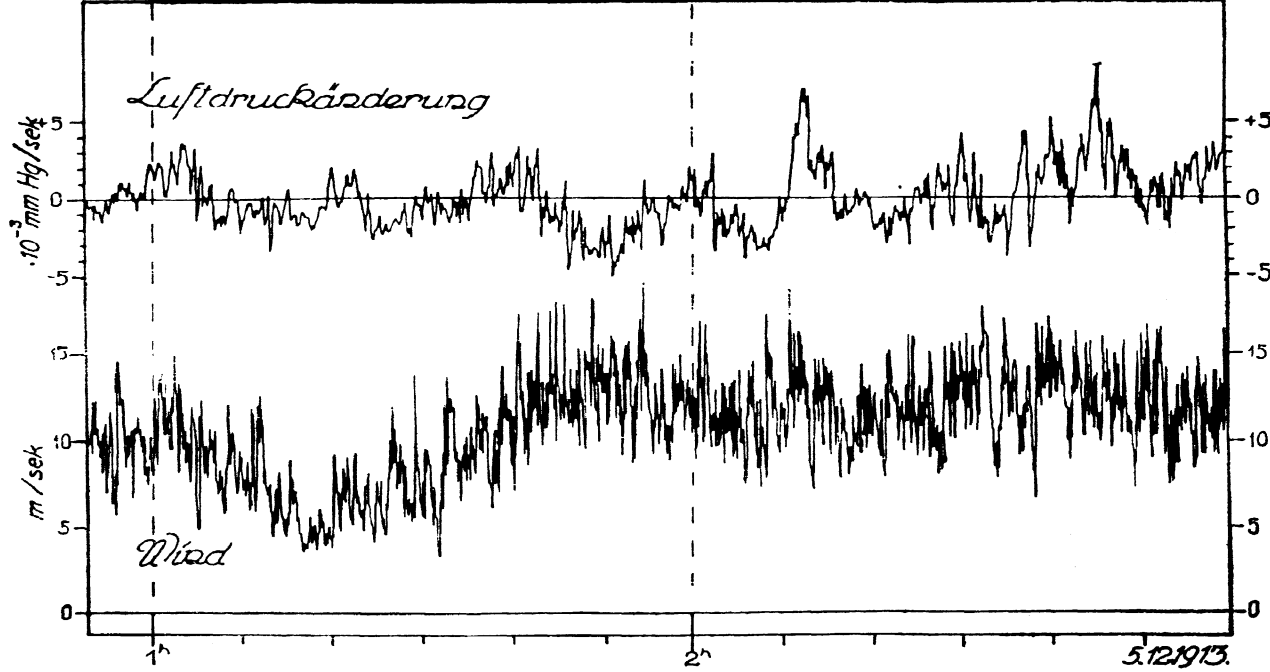
Sobald die heute nur in den allgemeinen Zügen bekannte Erscheinung der Turbulenz in der freien Luft eingehender festgelegt, insbesondere möglichst durch Zahlengrößen beschrieben ist, dann hätte auf Grund des eben Gesagten die theoretische Witterungs- und Klimakunde ganz wesentlichen Fortschritt zu erwarten; aber nicht sie allein, in ähnlichem Maße auch die allgemeine Hydrodynamik. Bei meteorologischen Beobachtungen befinden wir uns ja, im Gegensatz zu den Laboratoriumsversuchen, inmitten des strömenden Gases, die Abmessungen der einzelnen, für die Turbulenz charakteristischen Wirbel, die Mächtigkeit der beeinflußten Schichten usw. sind vielfach größer, sie erlauben also, nach Zeit und Raum erheblich weiter ins einzelne zu gehen und zu zergliedern. Und sollte auch die Theorie aus der Fülle der bereits vorliegenden meteorologischen Beobachtungen nur einen kleinen Teil gebrauchen können, so wäre es doch nicht allzu schwer, die Methoden der Beobachtungen den strengeren Anforderungen gemäß abzuändern.

Der Grund, warum es trotzdem bis heute noch nicht zu einer gegenseitigen Durchdringung gekommen, liegt weniger in dem verwickelten,

nicht unserer Willkür unterliegenden Ablauf der Erscheinungen im Freien als vielmehr darin, daß hier ein Bestimmungsstück mitspielt, das bisher weder in der Theorie noch im Laboratoriumsexperiment berücksichtigt wurde: der Einfluß der stabilen Schichtung, wie sie im Luftmeer herrscht, die schweren Schichten unten, die leichteren oben. Darauf ist es zurückzuführen, daß sich die Gesetze der Hydrodynamik in der Meteorologie erträglich anwenden ließen, soweit es sich um Bewegung in großem Maßstabe handelte, daß sie aber für die Aufklärung im kleinen versagten; und dazu gehören eben alle Erscheinungen, bei denen die Turbulenz merklich mitspielt.

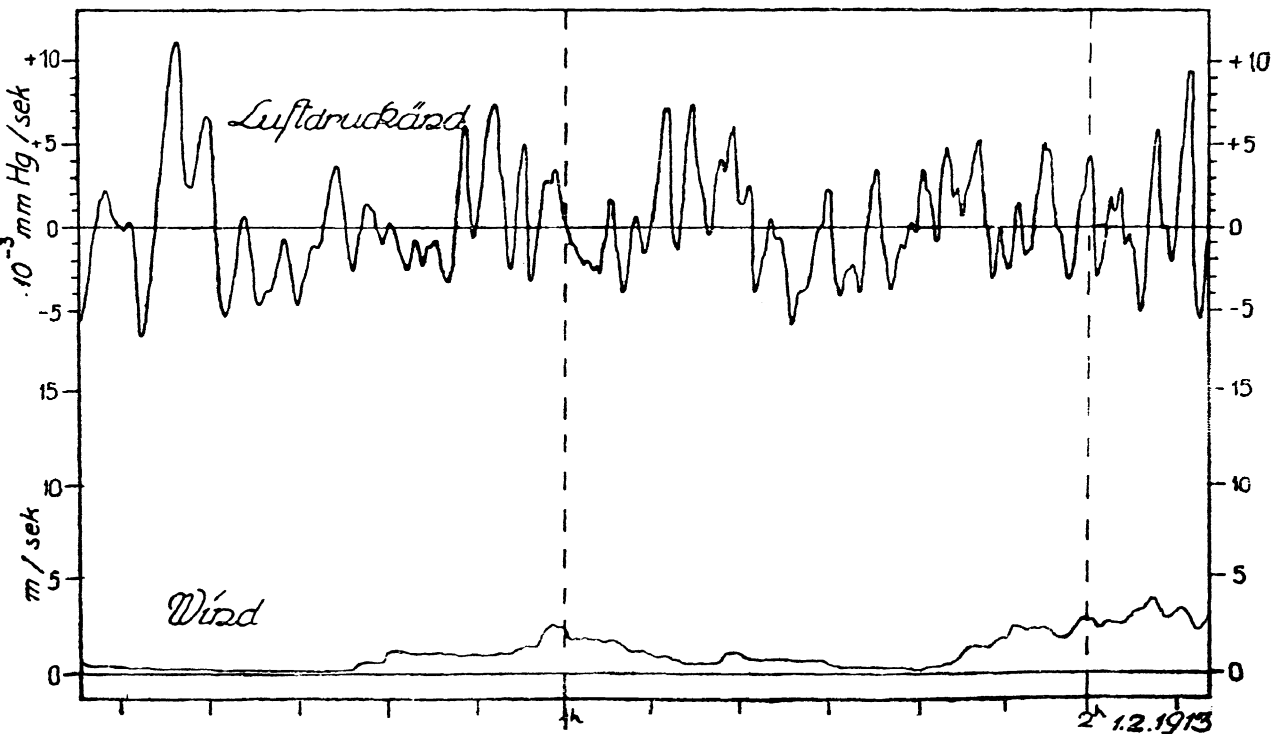
Man betrachte etwa den Beleg, den die Abb. 1 und 2 bieten. An dem Tag, auf den sich jene bezieht, herrschte heftiger Wind, stark turbulent, zeitweise ausgesprochen böig. Die gleichzeitigen Druckschwankungen zeigen eine entsprechende Unruhe, sogar ein erheblichere, als sonst bei der gleichen Windgeschwindigkeit vorkam. Abb. 2 hingegen, mit viel stärkeren Schwankungen des Luftdrucks, die also bei dem gegebenen Zusammenhang zwischen Luftdruckunterschieden und Luftbewegung auf viel stärkere Windgeschwindigkeit und Böigkeit schließen lassen würden, zeigt den größten Teil der Zeit Windstille oder ganz schwaches gleichmäßiges Fließen. Sie stammt von einer Nacht mit sehr stabiler Temperaturschichtung, wie wir sie im Winter oft antreffen: kalte Luft am Boden, wärmere darüber. Die auf irgendeine Weise eingeleiteten Luftdruckschwankungen (etwa Wogen der kalten Luft, über die in der Höhe die wärmere darüberstreicht) vermögen die Bodenluft kaum in Bewegung zu setzen. Wenn die Physik die so hervorgerufene Art ruhiger Strömung noch turbulent nennt, für den Meteorologen ist sie „laminar", d. h. geordnet, wie aus einem Vergleich des Verhaltens bei gleicher Windgeschwindigkeit nahegelegt wird: man halte etwa aus Abb. 1 den für die Zeit nach $1^h 15^m$ geltenden Kurvenzug dem aus Abb. 2 nach 2^h geschriebenen gegenüber. Hier hat die stabile Schichtung den Charakter der Luftbewegung vollkommen verändert, nicht bloß darin, daß statt des nach den Druckverhältnissen zu erwartenden äußerst heftigen Sturmes bloß schwache Strömung auftrat, sondern auch in der Art der Strömung selbst. Man begreift, daß auf alle derartigen Verhältnisse die Theorie erst dann anwendbar wird, wenn diese auch die ungeordnete Bewegung in geschichteten Medien zu behandeln gelernt hat.

Um also kurz zusammenzufassen: Von einer Untersuchung der Turbulenz in freier Luft darf sich die theo-



Gleichzeitige Aufzeichnungen der Geschwindigkeit der Luftdruckänderung und des Windes von einem unruhigen Tag, Wien, Hohe Warte; die letzte mit Hilfe eines Böenschreibers (Druckrohranemometer nach Dines) gewonnen, das erste mit einem „Variographen". Ein solcher zeichnet nicht etwa den Luftdruck selbst auf, sondern die zeitliche Änderungsgeschwindigkeit des Luftdrucks, mathematisch ausgedrückt dp/dt. Man hat so den Vorteil der Betonung der raschen Schwankungen, wobei allerdings die raschesten absichtlich teilweise ausgedämpft wurden, um die Lesbarkeit zu erhöhen. Die hier gebrachten sind die ersten veröffentlichten Gegenüberstellungen derart, wenn auch die Kurven aus dem Jahre 1913 stammen.

Abb. 1.



Gleichzeitige Aufzeichnungen der Geschwindigkeit der Luftdruckänderungen und der Windgeschwindigkeit an einem windschwachen Morgen, Wien, Hohe Warte.

Abb. 2.

retische Meteorologie nicht bloß an und für sich besonderen Fortschritt versprechen, sie kommt dadurch auch wieder in viel engere, gegenseitig befruchtende Verbindung mit der hydrodynamischen Forschung. Allerdings muß diese erst die heute noch vollkommen unbekannten Bedingungen des Auftretens der Turbulenz in geschichteten Medien studieren.

II. Praktisch wichtige Anwendungen.

In fast allen Besonderheiten des Witterungsablaufs läßt sich irgendwie der Einfluß der Turbulenz nachweisen. Es ist daher nicht verwunderlich, daß mit deren genauer Erforschung sofort auch für eine Reihe praktischer Fragen wesentlicher Gewinn erzielt wird. Von der unmittelbaren Bedeutung der Schwankungen in der Luftströmung und ihrer Abhängigkeit von den örtlichen Bedingungen für die Ausnützung der Windkraft, von der Bedeutung der Böigkeit für die Luftschiffahrt soll hier nicht näher gesprochen werden. Dafür seien einige Beispiele einer besonderen Wirkungsweise gebracht, die mit folgendem zusammenhängt: Die bei Turbulenz auftretenden vielfachen Wirbel durchmischen im allgemeinen die verschiedenen Schichten recht kräftig miteinander; und wo Unterschiede in einzelnen Eigenschaften vorkommen, etwa in Temperatur, Feuchtigkeit oder anderen Beimengungen zur Luft, so werden diese Unterschiede herabgemindert, ähnlich, nur vielfach stärker, wie es sonst eben durch eigentliche Wärmeleitung, eigentliche Diffusion geschähe. Um diese allgemeine, mit der ungeordneten Bewegung eng verknüpfte Wirkung besonders hervorzuheben und von vornherein weniger Gewicht darauf zu legen, wie die einzelnen Wirbelströme entstanden sind, empfiehlt es sich, die Bezeichnung des „senkrechten Massenaustausches der Luft“ oder kurz des „Austausches“ einzuführen.

Die auf irgendeine Weise bestimmte Größe dieses Austausches (sie wechselt ja nach Ort und Zeit) gibt die Grundlagen, um eine Reihe von Umsätzen auch rechnerisch zu beherrschen. Dazu gehört der oben mit kurzen Worten gestreifte Wärmeumsatz mit seinen Folgen, die ebenso wichtig sind für das Klima über weiten Gebieten wie für das ganz örtliche, für die allgemeine Pflanzenökologie wie für den praktischen Landbau. Man stelle sich nur vor, wie die Strahlung der Sonne (für die Ausstrahlung, etwa während der Nacht, gelten ähn-

liche Überlegungen) an der Erdoberfläche absorbiert, in fühlbare Wärme umgewandelt wird. Zum Teil geht diese Wärme in den Boden hinein, wir können eine in die Tiefe hinab fortschreitende Temperaturwelle beobachten; zum Teil wird sie aber in die Luft hinauf vermittelt — bei fehlender Turbulenz (kommt im Freien so gut wie nie vor) nur durch reine Leitung, das heißt sehr langsam, bei herrschendem Austausch aber desto rascher und ausgiebiger, je stärker dieser ist. Dort, ohne Turbulenz, folgen als Wirkung höhere Temperaturen in dünner Schicht, auch höhere Erwärmung des Bodens — hier, bei Austausch, geringere Temperatursteigerung, aber in mächtigeren Schichten fühlbar, an die Luft kommt ein viel größerer Teil der umgesetzten Wärme als dort. Dabei erzeugt aber nicht etwa der Strömungszustand der Luft allein Abstufungen, sondern ebenso auch die physikalische Beschaffenheit des Bodens, soweit sie auf die Temperaturleitfähigkeit einwirkt. Man braucht nicht erst den Gegensatz zwischen land- und wasserbedeckter Erdoberfläche heranzuziehen, um stark verschiedene Lebensbedingungen für Tiere und Pflanzen zu finden; besonders bei Berücksichtigung der bodennahen Schichten begegnet man solchen überall dort, wo infolge äußerer Umstände (Bodenform, Bestand usw.) der Austausch einseitig beeinflußt ist. Und kennt man in einem bestimmten Fall die Größe des Austausches, die auf irgendeine Weise bestimmt wurde, dann kann man aus der Wärmezufuhr die anderen für die Temperaturverhältnisse maßgebenden Zahlen auf einfache Weise berechnen.

Von weiteren Anwendungsmöglichkeiten seien noch einige aus lebenswichtigen Gebieten erwähnt.

Die Unregelmäßigkeit der Witterung in unserem Klima zwingt uns, besonderes Augenmerk dem Wasserhaushalt jedes einzelnen Gebietes zuzuwenden, gleichgültig, ob es sich um Maßnahmen der Wasserabfuhr, um die Ausnutzung von Wasserkräften oder um die Absicht handelt, größere Gebiete künstlich zu bewässern. Kann man das eine Glied der Umsätze, den Niederschlag, heute im allgemeinen mit genügender Genauigkeit sicherstellen, so fehlen für ein anderes Glied, die tatsächliche Wasserabgabe durch Verdunstung, so gut wie alle eingehenderen Unterlagen. Die für größere Flußgebiete auf einem Umwege berechneten Werte können wenig befriedigen, kommt es doch vor allem auf eine Kenntnis des Wasserverbrauchs und der Wasserabgabe von einzelnen Kulturgattungen an, auf Kenntnis des zeitlichen Wechsels im Tag und im Jahr, der Abhängigkeit von Lage, Wasser-

gehalt des Bodens usw. Die in so großer Anzahl gemachten Transpirationsversuche im kleinen, seien es nun Topfversuche im Laborratoium oder solche mit größeren Gefäßen im Freien, können deshalb nichts Bindendes aussagen, weil für sie die Verhältnisse des Luftaustausches — und nur von diesen hängt das Hinwegführen des Wasserdampfes ab — wesentlich anders liegen als bei den ausgedehnten Kulturflächen, auf die das Ergebnis angewendet werden soll. Hingegen ist es, wenn auch recht schwierig, doch immerhin möglich, die Verdunstung dieser letzteren unmittelbar abzuleiten bloß aus örtlichen Beobachtungen der Größe des Austausches und der Verteilung des Wasserdampfes in der Senkrechten.

Ein dritter Umsatz, der heute mit im Vordergrund des Interesses der Landwirtschaftswissenschaft steht, ist jener der Kohlensäure. Sie bildet sich größtenteils aus verwesender Pflanzensubstanz (wie z. B. aus dem durch Mikroorganismen zersetzten Dünger) im Boden, tritt an die Luft über und wird bei Licht gierig von den grünen Pflanzen aufgenommen und zum Aufbau des Pflanzenkörpers verwendet. Ihre Verteilung in der Luft erfolgt nun nicht etwa nach den Gesetzen der Diffusion, sondern nach denen des „Austausches", und ohne Kenntnis von dessen Größe für die verschiedenen Luftschichten zwischen den Pflanzen und darüber ist ein bindender Schluß über den Weg, den die Kohlensäure tatsächlich nimmt, unmöglich. Die Entscheidung darüber, ob die in einem bestimmten Acker im Boden erzeugte oder ihm vielleicht durch das moderne Mittel der künstlichen Feldbegasung zugeführte Kohlensäure im wesentlichen auch nur diesem Felde zugute kommt oder aber einer weiteren Umgebung, ferner jene über die meteorologischen Bedingungen, die die günstigste örtliche Wirkung gewährleisten, kann erst getroffen werden, wenn die bis heute fehlenden Beobachtungen über die Strömungsvorgänge nachgetragen sind.

Zum Schluß noch ein Beispiel, und zwar aus einem Gebiete, an dem sowohl öffentliche Gesundheitspflege wie Pflanzenschutz und Technik Anteil nehmen: der Ausbreitung von Verunreinigungen in der freien Luft. Es sollen etwa einem hohen Fabrikschornstein schädliche Gase in stärkerer Konzentration entströmen. In der Luft verteilen sie sich, ähnlich dem Rauch, und erreichen nach einiger Zeit eine Verdünnung, die nicht mehr als schädlich angesehen werden kann. Von welcher Stelle ab das geschieht, wie es abhängt von den Witterungsverhältnissen, wo am Boden das gefährdetste Gebiet

liegt usw., alles das ist aus einer genauen Kenntnis der Austauschverhältnisse zu beantworten. Wenn darin auch jedesmal den Bedingungen des besonderen Falles Rechnung getragen werden muß, so kann man doch schon allgemein sagen, daß die Verhältnisse da sicher ganz anders liegen, als man gewöhnlich annimmt, und daß die in der Praxis gehandhabten behördlichen Vorschriften für die Errichtung solcher Anlagen auf der einen Seite durchaus nicht geeignet sind, entsprechende Sicherheit gegen Schäden zu verbürgen, auf der andern Seite aber der Industrie nutzlos und ungerechtfertigt Beschränkungen auferlegen. Andersgefaßte Bestimmungen könnten den begründeten Ansprüchen aller Teile weit eher entgegenkommen.

Diese Fälle — wenige aus einer großen Anzahl — beweisen wohl schon zur Genüge, daß *ein möglichst eingehendes Studium der Vorgänge der Turbulenz, des senkrechten Massenaustausches in der freien Luft* nicht nur unsere Kenntnis in der allgemeinen Witterungskunde und Strömungslehre wesentlich bereichert, sondern auch, *in den verschiedensten Zweigen angewandt, die noch fehlenden festen Grundlagen schafft.*

III. *Einige vorbereitende Ergebnisse.*

Bis es so weit ist, bedarf es allerdings noch mancher Arbeit: Das neue, kaum beackerte Wissensgebiet verlangt besondere Beobachtungsmethoden und neuartige Hilfsmittel, die alle erst einzurichten und eingehend zu prüfen sind; auch die allgemeine Rechnung stellt schon höhere Anforderungen. Wieweit man dabei in die Grundlagen zurückgehen muß, und wie ferne die zu behandelnden Gebiete dem eigentlichen Ziel zu liegen scheinen, ersieht man am besten aus einer Darstellung einiger vorläufiger Ergebnisse, die bisher erreicht wurden, und zwar dank der Unterstützung der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft, die den ganzen Fragenkreis im Rahmen der Gemeinschaftsaufgaben behandeln läßt.

1. *Eignung der Anemometer für die besonderen Zwecke.* Wenn es sich um die Art der Luftbewegung handelt, so spielen immer die Geräte zur Angabe der Windgeschwindigkeit („Anemometer“) eine entscheidende Rolle. Von den verschiedenen hierzu tauglichen Ausführungen sind bei uns noch die Schalenkreuzanemometer am meisten in Gebrauch, ihnen zunächst kommen die als Böen-

schreiber bezeichneten. Bei jene besteht der aufnehmende Teil in einem wagerecht liegenden Kreuz, drehbar um eine durch seinen Mittelpunkt gehende senkrechte Achse, an jedem der vier gleich langen Arme eine Schale (hohle Halbkugel) tragend, deren Höhlungen alle nach derselben Seite, im Sinne der Drehung gerechnet, gewendet sind. Je größer die Windgeschwindigkeit, desto größer auch die Geschwindigkeit, mit der sich das dem Winde ausgesetzte Schalenkreuz um seine Achse dreht, und innerhalb weiter Grenzen erweist sich die Beziehung als eine lineare.

Indes waren die Eichungen — auf dem „Rundlauf" oder im Windkanal — durchaus in gleichmäßigem Luftstrom vorgenommen worden. Wie aber eingangs besonders hervorgehoben, ist die Bewegungsform der Luft im Freien durchaus davon verschieden, gekennzeichnet durch ständiges Schwanken der Geschwindigkeit. Und wie sich die Geräte diesen gegenüber verhalten, das wurde in einer größeren Versuchsreihe festgestellt, die zum Teil, dank dem Entgegenkommen des Herrn Professors L. Prandtl, im Kaiser-Wilhelm-Institut für Strömungsforschung bzw. der Aerodynamischen Versuchsanstalt in Göttingen, zum andern Teil, dank der Unterstützung seitens des Herrn Geheimrats H. Hergesell, im Meteorologischen Observatorium Potsdam vorgenommen werden konnte. Jene Stelle besitzt als einzige in Deutschland einen Windkanal, in dem man die Strömungsgeschwindigkeit der Luft in genügend weiten Grenzen und innerhalb kurzer Zeit variieren kann, etwa so, daß man in Zeitabständen von 10 Sekunden einen Windschwall zu erzeugen imstande ist, mit Zeiten geringer Windgeschwindigkeit dazwischen.

In einem solchen Strom zeigten nun die erwähnten Geräte tatsächlich ein Verhalten, das ihre Verwendbarkeit in Fragen der Turbulenz wesentlich herabsetzt: Bei steigender Windgeschwindigkeit nahmen sie ziemlich rasch die entsprechende Drehgeschwindigkeit an, sie behielten diese aber ziemlich lange kaum vermindert bei, wenn der Wind wieder abnahm. Je größer ihre Masse, desto ausgesprochener die Wirkung, die sich darin äußert, daß nicht bloß die Schwankungen der Windgeschwindigkeit in den Angaben kaum zu erkennen sind, sondern auch darin, daß die mittlere Windgeschwindigkeit wesentlich zu hoch angegeben wird. Der Fehler ist nicht immer derselbe, er hängt, wie verständlich, von dem Grade der Turbulenz ab. Selbst wenn die Instrumente für die meisten praktischen Zwecke genügen sollten, für genauere Angaben, und insbesonders in allen Fragen der Turbulenz-

forschung, sind sie nicht mehr verwendbar; sie können nicht einmal richtige Relativwerte, etwa der Geschwindigkeit über dem Boden, liefern; denn gerade da ist der Austausch wesentlich verschieden.

Die andere große Gattung von Anemometern, die Böenschreiber, benutzt meist Staudüsen, die den Winddruck aufnehmen und ihn durch Röhren zu den angebenden Teilen, in Wasser tauchenden Manometerglocken, weiterleiten. Auch von diesen wurde eine Type auf ihr Verhalten gegenüber schwankenden Windgeschwindigkeiten geprüft, und zwar mit den Einrichtungen der Lehrkanzel für Meteorologie an der Hochschule für Bodenkultur in Wien. Das Ergebnis kann kurz dahin zusammengefaßt werden, daß derartige Geräte zwar vielfach besser sind als die Schalenkreuze, aber immer noch weit entfernt von dem, was man für genauere Untersuchungen benötigt. Wellenförmige Windschwankungen, von etwa 30 Sekunden Dauer aufwärts, werden schon recht gut wiedergegeben, kurze aber erheblich verzerrt, von den kürzesten scheint auch da nichts mehr auf.

2. Bau und Prüfung besonderer Widerstandskörper. Es ist nicht sicher, ob es mit verhältnismäßig einfachen Mitteln gelingt, die recht fühlbare Lücke in der Apparatur auszufüllen, die nach den erwähnten Untersuchungen besteht. Für die besonderen Zwecke der Forschung nach den Einzelheiten der Austauschverhältnisse wurden aber Widerstandskörper entworfen, die bei der ersten Prüfung recht vielversprechende Ergebnisse zeigten. Zunächst wurde eine Metallkugel gewählt, die, im Winde aufgestellt, den Vorteil allseitig gleicher Beeinflussung besitzt; aber nicht eine vollkommene Kugel mit glatter Oberfläche, sondern eine siebartig durchlöcherte. Bei einer solchen kann sich an der dem Wind abgewendeten Seite nicht jenes Strömungs- und Wirbelsystem bilden, das bei vollkommenen Kugeln von einer bestimmten Geschwindigkeit ab ein ganz anderes Widerstandsgesetz auftreten läßt. Die im Institut Prof. Prandtls freundlicherweise vorgenommene Prüfung hat tatsächlich ergeben, daß der Luftwiderstand des neuen Probekörpers einmal merklich größer ist als der einer vollen Kugel, dabei aber in dem ganzen untersuchten Bereich — die Geschwindigkeiten wurden bis zu 28 m/sek. hinaufgetrieben — genügend genau ein und dasselbe Gesetz befolgt. Es wäre also damit ein recht brauchbarer Bestandteil für besondere Zwecke der Geschwindigkeitsmessung in Luft — und auch in Wasser — gegeben.

In ähnlicher Richtung wurde auch die Winddruckplatte vervoll-

kommnet. Die einfachsten der gewöhnlichen Druckplatten (etwa bei der sogenannten „Wildschen" Windfahne) bestehen aus pendelnd aufgehängten Metallflächen, deren wagerechte Schwingungsachse immer quer zur Windrichtung gestellt wird. Aus dem Neigungswinkel, unter dem sie stehen, kann man auf die Windgeschwindigkeit schließen. Bei geordneter Luftbewegung geht das alles glatt, bei ungeordneter aber wird die Platte durch jeden Stoß weit über ihre eigentliche Gleichgewichtslage hinausgeworfen, gibt also vollkommen falsche Werte an.

Der versuchsweise erprobte Ersatz solcher Platten besteht in aufgehängten Drahtreifen, die mit feinstem Seidentüll („Brautschleier") überspannt sind. Zufolge ihres geringen Gewichtes fehlt die Trägheitswirkung, bei entsprechender Dichte des Überzuges kann man schwingungsfreies Einstellen auf die Gleichgewichtslage erreichen, endlich können sich hinter den Scheiben wegen deren Durchlässigkeit keine störenden Wirbel bilden, und es tritt kein Schwingen und Pendeln auf, das heißt, das Gerippe braucht durchaus nicht besonders starr zu sein. Die Anordnung verspricht, für bestimmte Sonderuntersuchungen besonders günstig zu werden.

3. Das Eindringen von Luftdruckschwankungen in den Boden. Liefen die zwei bisher erwähnten Teiluntersuchungen darauf hinaus, geeignete Geräte für die Erforschung der Luftbewegung an sich ausfindig zu machen, so schloß eine dritte an die theoretischen Grundlagen des im zweiten Teil erwähnten Kohlensäureumsatzes an. Es wird nämlich behauptet, daß die im Boden gebildete Kohlensäure in den Bodenkapillaren durch Diffusion an die Oberfläche und so in die Luft wandere. Gestützt wird diese Ansicht durch Zahlenrechnungen, die als Grundlage Überschlagswerte über die durch Zersetzung entstehende Kohlensäure und über den Luftgehalt des Bodens benutzen. Wenn aber in der freien Luft die Massenverlagerungen dahin wirken, daß ein viel stärkerer Kohlensäuretransport zuwege kommt, als durch reine Diffusion möglich ist, sollten da nicht auch im Boden Verschiebungen von Luftmassen vorkommen können mit ähnlicher Wirkung? Eine Äußerung derart glaubte man schon gefunden zu haben in dem Einfluß von Luftdruckschwankungen auf den Kohlensäuregehalt der Luft im Freien; er sollte beispielsweise bei sinkendem Druck ansteigen, indem kohlensäurereiche Luft aus den Bodenkapillaren austritt. Dabei beachtete man immer nur große Druckänderungen, die sich etwa in mehr oder weniger ge-

schmeidigem Abfall im Zeitraum von einem Tag oder mehr vollziehen.

Die Variographenregistrierungen, von denen im ersten Teil einige Beispiele gegeben wurden, haben uns aber gelehrt, daß ganz unvergleichlich viel häufiger Luftdruckschwankungen von kurzer Dauer vorkommen; sie erreichen zwar nicht den gleichen Ausschlag wie die eben erwähnten länger dauernden, könnten aber wegen der großen Zahl der Wechsel (besonders bei bestimmten Wetterlagen, vor allem bei windigem Wetter, aber nicht immer gerade nur da, vgl. Abb. 2) eine vielfach höhere Wirkung hervorbringen. Voraussetzung ist allerdings, daß die Bodenluft immer noch zu einem erheblichen Teil diesen raschen Schwankungen folgen kann, ohne durch den Strömungswiderstand in den Kapillaren besonders gehindert zu sein. Um dies zu entscheiden, stellte ich Versuche an mit einer bestimmten einfachen Probe, Sandboden, die schon von anderer Seite besonders eingehend physikalisch untersucht worden war. Sie war in einem Kessel luftdicht eingeschlossen, und auf sie wirkten regelmäßige, durch eine Pumpe erzeugte Druckschwankungen verschiedener Dauer. Die auf besondere Art gewonnenen Registrierungen lieferten, ausgewertet[1]), als wichtigste Ergebnisse etwa folgende zwei: Die „bewegliche" Luft im Boden, das ist jene, die überhaupt mit der Luft darüber in Verbindung steht, nimmt schon an Druckwellen von 2 bis 3 Sekunden Dauer fast zur Gänze teil, bei längeren Schwankungen, jenen, die etwa mit den häufigsten Windwellen zusammengehen, ist von einer Behinderung durch die Kapillaren überhaupt nichts mehr zu bemerken. Jenes „bewegliche" Luftvolum ist aber keineswegs identisch mit dem Luftgehalt des Bodens: z. B. ließ, innerhalb gewisser Grenzen, Zugabe von einer bestimmten Menge Wasser das ermittelte Volumen der beweglichen Luft um das Doppelte oder mehr herabsinken. Es wurden also erhebliche Luftmengen durch Wassermenisken abgeschlossen — für den Austausch mit der Außenluft, sei es durch Vermittlung von Strömen oder durch Diffusion, sind sie überhaupt nicht vorhanden.

Es ist hier nicht der Ort, die daraus für die Theorie der Kohlensäureversorgung usw. zu ziehenden Folgerungen auseinanderzu-

[1]) Ich möchte da ausdrücklich der besonderen Hilfe des Herrn Dr. P. Lehmann gedenken, dem hier nicht nur, wie bei den früher angeführten Reihen, der wesentlichste Teil der mechanischen Auswertungen oblag, sondern auch die Vornahme zahlreicher Versuche.

setzen; vielmehr wurde das Beispiel, wie die beiden früheren, nur gebracht, um einen Einblick darin zu gewähren, wie Schritt für Schritt erst die Voraussetzungen für weitere Arbeit und Schlüsse zu schaffen sind. Allerdings darf man, dank den zur Verfügung gestellten Mitteln, wie in diesen, auch in den übrigen Teilgebieten der Turbulenzforschung in freier Luft baldige Überwindung der anfänglichen Schwierigkeiten, gesicherte Anwendung auf die Beobachtungen in der Natur und reiche wissenschaftliche Ernte erwarten.

Arbeiten zur Kenntnis des Strömungssystems und der Turbulenz in der freien Atmosphäre

Dr. P. Duckert, Lindenberg

Die Physik der freien Atmosphäre ist in ihren Anfängen im wesentlichen aus dem Bedürfnis heraus entstanden, die Vorgänge in einigen Kilometern Höhe über der Erdoberfläche in ihrem Einfluß auf die Witterungsvorgänge in bodennäheren Schichten zu untersuchen. In diesem Sinne sind wertvolle Resultate seit langem erhalten, neuerdings verfeinert und sichergestellt worden, die uns die Aufstellung einer Arbeitshypothese über die atmosphärischen Vorgänge in der Höhe und ihre Beziehungen zum Wetter ermöglichten.

Daneben soll aber die Physik der freien Atmosphäre auch die Wege zu einer klaren Erfassung der im Luftmeer verborgenen Energiequellen ebnen. Die am leichtesten erfaßbare von diesen ist zweifellos die Bewegungsenergie der Luftströmungen, sowohl horizontaler wie vertikaler Art.

Die Durchführung aller Arbeiten, die dieses für die Allgemeinheit, die Wirtschaft und nicht zuletzt für die Wissenschaft außerordentlich bedeutende Problem bietet, hat die Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft in dankenswerter Weise in die Wege geleitet.

Am Aeronautischen Observatorium Lindenberg sind zur Erreichung dieses Zieles zwei Hauptaufgaben in Angriff genommen worden: Einmal eine rein instrumententechnische, nämlich das Studium der vorhandenen und die Entwicklung eines neuen einheitlichen Windmeßgerätes nebst Untersuchung der verschiedenen Möglichkeiten, die Angaben der einzelnen Meßinstrumente aufeinander zu beziehen, zum anderen soll die Struktur der freien Atmosphäre selbst untersucht werden.

Wenden wir uns zunächst der ersten Aufgabe zu. Diese umfaßt eine umfangreiche Untersuchung dahingehend, was mit den verschiedenen Anemometertypen überhaupt gemessen wird. Als zweites ist der Einfluß der Unterbauten ortsfester Anemometersysteme auf die Meßwerte zu studieren, und drittens endlich muß das beste Instrument

und der geeignetste Unterbau weiter den Bedürfnissen angepaßt werden, um als Norm für ein großes einheitliches Windnetz eingeführt zu werden. Weitere damit zusammenhängende Fragen, wie die, welche Minimalhöhe über dem Erdboden für die Aufstellung der Meßorgane in Frage kommt und ähnliche sind dann von mehr untergeordneter Bedeutung und müssen später evtl. durch internationale Vereinbarungen gelöst werden. Die Ermittlung der Reduktionsfaktoren der Messungen aus verschiedenen Höhen aufeinander, fällt hingegen mit in das Programm der vorliegenden Untersuchungen und ist daher ebenfalls einer experimentellen Prüfung zu unterziehen. Nur nach Durcharbeitung dieser Einzelaufgaben erscheint es mir möglich, untereinander vergleichbare Windwerte in einem großen Windnetz zu erhalten. Vielleicht ist es dann auch möglich, Messungen älterer und neuerer Zeit untereinander zu vergleichen.

Die bisher hauptsächlich gebrauchten Instrumenttypen sind die verschiedenen Arten von Schalenkreuzinstrumenten. Es sind hierbei solche unterschieden, die direkt in m/sec Wind geeicht sind, wie das Köpselsche elektrische Anemometer und der Morell und solche, die den mittleren Windweg durch die eine oder andere Art angeben, also z. B. nach einem bestimmten zurückgelegten Windweg eine Marke aufzeichnen, oder in Form der gewöhnlichen Handanemometer, bei denen von Hand aus ein Zählwerk der Umdrehungen in Tätigkeit gesetzt werden kann. Auch der sogenannte mittlere Windwegschreiber im Steffens-Hedde-Anemometer fällt in diese Kategorie. Die Vergleiche sind in einem nahezu konstanten Windstrom, dann auch in der freien Natur und endlich in einem periodisch schwankenden Windstrom ausgeführt worden. Was zunächst allen mittleren Windwegschreibern mit Schalenkreuzen gemeinsam ist, ist die Tatsache, daß sie nur in einem konstanten Windstrom einwandfreie Werte ergeben. Sowie irgendeine Struktur durch Böigkeit oder im Laboratorium durch periodische Schwankungen herbeigeführt wird, zeigen alle Schalenkreuze zu hohe Werte an, Werte, die bei geeignet kurz gewählten Windperioden in regelmäßiger Wiederkehr den Spitzenwerten der Böigkeit sehr nahe kommen können. Die einfache Erklärung dafür ist, daß die zum Teil beträchtlichen, bewegten Massen infolge ihres Beharrungsvermögens den Schwankungen nur sehr langsam folgen können. Dieses Ergebnis, das ja theoretisch zu erwarten war, aber doch weit größere Abweichungen vom wahren Werte ergeben hat, als man durch Überschlagsrechnung vermuten konnte, ist im Hinblick auf die Verwertbar-

keit aller bisher vorliegenden Windangaben außerordentlich betrüblich. Man kann wohl getrost behaupten, daß alle Windwegmittel, speziell aber die an böigen Tagen erhaltenen, auf jeden Fall zu hohe Werte darstellen. W. Schmidt, der versucht hat, im Göttinger Windkanal direkte Eichungen von Schalenkreuzen im periodischen Windstrom durchzuführen, ist hierbei zu ganz ähnlichen Ergebnissen gekommen. Die Eichung im periodischen Windstrom ergibt je nach der benutzten Periode verschiedene Eichkurven. Welche von allen der Auswertung später zugrunde gelegt werden muß, könnte streng genommen nur ein parallel arbeitender Böenschreiber entscheiden.

Verringern läßt sich der Fehler zweifellos durch Verwendung sehr kleiner, leichter, direkt an der Drehachse liegender Schalen. Hiermit angestellte Versuche haben ein sehr günstiges Ergebnis gehabt. Allerdings muß bemerkt werden, daß, wenn man in dieser Richtung zu weit geht, in den drehbaren Kreuzen keine merkliche Kraft mehr vorhanden ist.

Eine recht glückliche Lösung stellt in mancher Beziehung das auf elektrodynamischem Wege arbeitende Köpselsche Instrument dar. Das Schalenkreuz dreht bei ihm eine kleine Dynamomaschine, deren Umdrehungszahl proportional der Spannung des erzeugten Stromes ist. Ein Spannungsmesser kann also direkt in Windstärken geeicht und zur Anzeige benutzt werden. Ein weiterer Vorteil des Instrumentes liegt darin, daß das Anzeigeinstrument beliebig entfernt vom Aufnahmeelement aufgestellt werden kann. Auch bei diesem Instrument spielt zwar die Trägheit infolge der bewegten Masse eine wichtige Rolle. Im Laufe der gemeinsam mit der Firma Köpsel angestellten Versuche wurde eine wesentliche Besserung dadurch erzielt, daß einmal das Schalenkreuz wiederum sehr kleine Ausmaße bekam, auch das Material der bewegten Masse sehr leicht gehalten wurde, zum anderen auch die kleine Dynamo mit einem Holzkern versehen und dadurch bedeutend leichter gefertigt wurde. Ein Nachteil, der die Registrierung behindert, ist zunächst noch die Tatsache, daß Köpsel Gleichstrommaschinen verwendet, bei denen die Kollektorunterteilung eine stetige Anzeige unmöglich macht.

Günstiger liegen die Verhältnisse bei Instrumenten, die auf der Registrierung des reinen Winddruckes beruhen. Hierher gehören zum Teil die gebremsten Schalenkreuze, bei denen das Schalenkreuz nur zur Spannung einer Feder um wenige Bruchteile einer ganzen Umdrehung bewegt wird, und ähnliche andere Instrumente, mit denen

in Lindenberg schon früher Strukturuntersuchungen des Bodenwindes gemacht wurden (Arbeiten des Aeronaut. Obs. Lindenberg Bd. XIII). Auch der von Steffens und Hedde konstruierte Böenschreiber gehört hierher. Das Prinzip aller dieser Instrumente sucht ein Anzeigemittel zu finden, welches sich den schnellen Änderungen der Windgeschwindigkeit gut anpaßt. Der Wert der mittleren Windgeschwindigkeit muß dann durch mechanische Integrationsmethoden nachträglich bestimmt werden. Bei der Auswertung dieser Resultate aller Winddruckmesser muß man sich allerdings bewußt sein, daß in diesem Falle eine Energiemessung vorliegt, da ja der Staudruck des Windes gemessen wird. Die Relation zwischen Staudruck und Windgeschwindigkeit ist aber in keiner Weise eindeutig.

Verschieden ist bei den letztgenannten Instrumenten im wesentlichen die Methode, wie der Staudruck gemessen wird. Bei dem vielverbreiteten Steffens-Hedde wird ein Schwimmer durch die Anfüllung eines unter ihm befindlichen Hohlraumes mit Luft und Verdrängung des darin sonst noch befindlichen Wassers bewegt. Das Auf- und Abgleiten des Schwimmers in der Flüssigkeit wird direkt registriert. Die notwendige Größe des Füllvolumens sowie die Tatsache, daß auch die Luft in den Zuleitungsrohren dauernd, zum Teil sehr stark, bewegt wird, macht die Anzeige recht träge, und ein Vergleich mit einem schnell arbeitenden Manometer, welches direkt die Druckdifferenz aufzeichnet, hat recht beträchtliche Nachhinkerscheinungen des Steffens ergeben. Eine ausführliche Untersuchung hierüber mit Zahlenangaben wird demnächst an anderer Stelle publiziert werden. Eine wesentliche Verbesserung all dieser Nachteile wird augenblicklich durch die Konstruktion eines für diese Messungen besonders geeigneten Membran-Differenzdruckschreibers durchgeführt. Das kleine Füllvolumen dieses Instrumentes macht es außerordentlich empfindlich, so daß es den geringsten und schnellsten Windschwankungen unmittelbar folgt. Bereits vorliegende Registrierproben lassen ein sehr günstiges Ergebnis voraussehen. Ein derart gebautes Instrument wird aller Voraussicht nach auch die Grundtype für ein geplantes einheitliches Windnetz werden.

Noch ein weiterer Weg zur Schaffung eines möglichst trägheitslosen Böenschreibers ist von mir versucht worden. Er beruht auf dem bekannten piezo-elektrischen Effekt. Eine besonders geschliffene Quarzplatte ist imstande, auf ihr lastende Druckschwankungen in Schwankungen elektrischer Spannungen umzusetzen. Die Anzeige dieser

Spannungen kann direkt mit einem Einfadenelektrometer erfolgen. Die Anordnung ist naturgemäß außerordentlich empfindlich und wird daher nur im Laboratorium einwandfrei arbeiten können. Eine Aufstellung im Freien ist schon wegen der notwendigen photographischen Registrierung beschwerlich. Der Winddruck wird bei dieser Einrichtung zunächst auf eine größere Staufläche gerichtet. Ein längerer Hebelarm sorgt dafür, daß der Druck verstärkt auf die Quarzplatte übertragen werden kann. Für die Registierung der horizontalen Windgeschwindigkeiten bzw. Böigkeiten wird die Einrichtung wegen ihrer Kompliziertheit kaum in größerem Ausmaße Anwendung finden können, hingegen ermöglicht sie in eleganter Weise die Registrierung der weit geringeren vertikalen Windbewegung.

Die Frage der Vertikalwindregistrierung hängt nun aber in weit größerem Maße, als dies bei der Registrierung der Horizontalkomponente in Frage kommt, von der Wahl eines geeigneten Unterbaues für die Instrumentenaufstellung ab. Und gerade in dieser Richtung ist das Problem noch nicht gelöst. Die Frage der Unterbauprüfung für Instrumente zur Messung der horizontalen Windgeschwindigkeit bzw. Böigkeit kann als einigermaßen gelöst angesehen werden. Nach Besprechung mit verschiedenen Autoritäten wurden für unsere Versuche Türme ausgewählt und konstruiert, die als freistehende Gittermaste ausgebildet sind und eine Höhe der Plattformen von 10 bzw. 20 m über dem Boden haben. Es hat sich durch Anbringung verschiedener Instrumente ergeben, daß die bei uns auf freiem Felde aufgestellten Türme für die Messung der horizontalen Windgeschwindigkeit keine merkliche Fälschung der Meßwerte bedingen, daß also die durch Stauung am Turm sicher verursachten Wirbel bei der gewählten Ausführungsform der Türme gering sind. Eine Vergleichung der auf dem 20-m-Turm schon seit einigen Monaten durchgeführten Registrierung mit den Aufschreibungen des Windmessers auf dem Windenhaus des Observatoriums ist sehr günstig für den 20-m-Turm ausgefallen. Für Messungen der Vertikalwindgeschwindigkeit sind die Türme ungeeignet.

Um in weiteren Arbeiten nicht durch die definitive Erledigung der instrumententechnischen Frage behindert zu sein, sind zunächst für Untersuchungen in der Nähe des Erdbodens nur solche Probleme in Angriff genommen worden, bei denen die Verwendung in sich einheitlicher Meßinstrumente eine hinreichende Gewähr für die Exaktheit der Relativwerte bietet. Eine Reihe von kleinen Windfahnen und

gewöhnlichen Handanemometern sind zu diesem Zweck mit elektrischen Bremseinrichtungen versehen worden, die es gestatten, ein ganzes Feld von Anemometern elektrisch im gleichen Moment auszulösen und anzuhalten. Durch Ausschaltung der vielen persönlichen Verschiedenheiten erhoffen wir hiermit einwandfreiere Ergebnisse, als sie bisher vorliegen.

Die weiter geplanten, für die wirtschaftliche Ausnutzung der Windkräfte nötigen Untersuchungen über die Strömungsverteilung an Hügeln und um Windkraftmaschinen haben bisher nicht ausgeführt werden können, da die dem Observatorium Lindenberg aus Industriekreisen zugesagte Windkraftmaschine von 10 kW Leistung bisher nicht geliefert worden ist.

Alle die vorgenannten Untersuchungen beziehen sich ausschließlich auf die Strömungsverhältnisse am oder in der Nähe des Erdbodens. Die Erforschung der Strömungen und der Turbulenz in der freien Atmosphäre setzt ganz anders geartete Methoden voraus. Die Verschiedenheit der Methoden ist von vornherein bedingt durch die angewendeten Forschungsmittel. Zur Erforschung kann verwendet werden das Flugzeug, der freifliegende Pilotballon, der gefesselte Drachen, und endlich darf die Messung des Wolkenzuges nicht vergessen werden.

Der an sich idealste Flugkörper für die Untersuchung der Struktur der atmosphärischen Verhältnisse der Strömungen ist der prall gefüllte Gummiballon. Die anzustrebende kontinuierliche Aufzeichnung einer mit zeitlicher Zuordnung versehener Vertikal- und Horizontalprojektion ergibt an sich alle benötigten Faktoren. So weit sind wir aber heute leider noch nicht fortgeschritten, wir müssen uns mit einer punktweisen Rekonstruktion der Projektionen aus der Verfolgung mittels einiger Theodolite oder eines Entfernungsmessers begnügen. Die zeitliche Aufeinanderfolge der Messungen ist meist zu groß, um ein kontinuierliches Bild auch nur angenähert zu geben. Apparate, um die Zeitfolge der Aufnahmen solcher Projektionen zu verringern, sind auf verschiedenen Arten konstruiert worden; so ist vor kurzem dem Aeronautischen Observatorium Lindenberg eine photographisch registrierende Meßstation von der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft überlassen worden, welche in Zeitabständen von 1/3 Sekunde aufwärts die photographische Ablesung der Kreise der Meßtheodolithe besorgt und daher recht ähnliche Bilder der Bahnen zu rekonstruieren gestattet. Um die Instrumente für beliebige Basis-

länge verwenden zu können, ist hier für diese von den Askaniawerken stammenden Instrumente zunächst eine drahtlose Auslösevorrichtung konstruiert worden. Ein Nachteil der Methode liegt vorläufig noch darin, daß einmal keine Möglichkeit besteht, den Beobachter selbst zu kontrollieren, zum andern aber auch Messungen, bei denen der Beobachter selbst falsch pointiert hat, automatisch auszuschalten. Eine Möglichkeit der Abhilfe dieser letzten Fehler ist der ausführenden Firma bereits vorgeschlagen worden. Noch geeigneter für diese Studien wäre eine Meßstation, bei der das Gesichtsfeld ebenfalls mitphotographiert wird, da dann direkt durch die Photographie die richtige Pointierung erwiesen werden kann. Die Auswertung solcher Aufnahmen ist recht mühselig und zeitraubend, daher sind am Observatorium Lindenberg Tabellen zur Auswertung von Doppel- und Mehrfachvisierungen gerechnet worden, die die Rechenarbeit auf ein Minimum reduzieren. (Die Arbeiten des Aeronautischen Observatoriums Lindenberg Bd. XV.)

Schon bei einfachen Visierungen kann man neben der reinen Windgeschwindigkeitsbestimmung Rückschlüsse auf turbulente Schichten der Atmosphäre ziehen. Diese Turbulenzschichten und starke Aufwindbewegungen äußern sich beim Betrachten der Vertikalprojektion der Bahn zwar in gleicher Weise. Auch in turbulenten Schichten nimmt die Steiggeschwindigkeit infolge verringerten Luftwiderstandes zum Teil erheblich zu, so daß eine einfache Trennung der Erscheinungen nicht möglich ist. Trotzdem gewahrt ein geübter Beobachter beim Durcheilen turbulenter Schichten durch den Ballon eine Unruhe in der Ballonbewegung, die daher sorgfältiger Beobachtung bedarf. Bei einer großen Anzahl von Doppelvisierungen ist speziell bei Registrierballonen auf diese Erscheinung geachtet worden, und eine ganze Reihe von guten Beobachtungen sind hierbei angesammelt. Im allgemeinen zeigt sich bei Schichten mit adiabatischen Temperaturgradienten, also bei stark durchmischten Schichten, wie zu erwarten, starke Turbulenz und damit verbunden starke Böigkeit. Auch andere Höhen, gewöhnlich dicht unter größeren Inversionen, zeichnen sich durch derartige Erscheinungen aus; auch im Cirrenniveau und ganz markant kurz unterhalb der Stratosphärengrenze erhalten wir immer wieder mehr oder weniger stark ausgeprägte Turbulenzschichten.

Die obenerwähnte Tatsache, daß bei turbulenten Schichten infolge verringerten Luftwiderstandes die Aufstiegsgeschwindigkeit der Pilotballone eine größere wird, erklärt übrigens auch zur Genüge, warum

alle im Freien gemessenen Steiggeschwindigkeiten von Gummipiloten in Abhängigkeit von Größe und Auftrieb, je nach der atmosphärischen

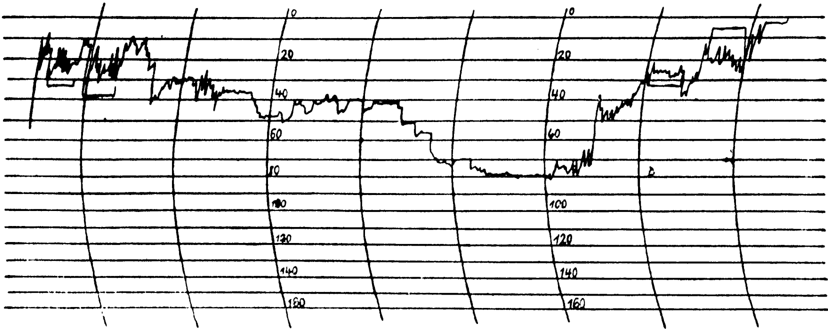


Abb. 1.

Struktur, verschiedene Werte geben, und speziell warum alle in der freien Atmosphäre aufgestellten Geschwindigkeitstafeln größere Werte enthalten, als die aus Versuchen in geschlossenen Räumen abgeleiteten.

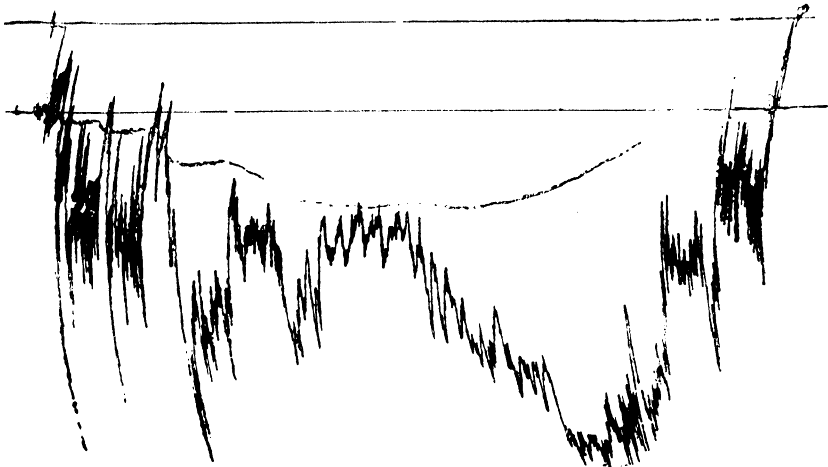


Abb. 2.

Die andere Methode, Böigkeit und Turbulenz neben der Windgeschwindigkeit in der freien Atmosphäre durch Messungen zu bestimmen, liegt in der Verwendung von gefesselten Drachen. Neben der Registriermöglichkeit von Druck, Temperatur und Feuchtigkeit in

der Höhe besteht die Möglichkeit, die in den Haltedrähten auftretenden Zugkräfte in Beziehung zu Windgeschwindigkeit und Windunruhe zu setzen. Dies kann geschehen durch den Einbau eines Zugschreibers direkt an der Drachenwinde. Ein solches Instrument ist an und für sich auch für die Sicherheit der Aufstiege erforderlich. Die Aufzeichnungen eines derartigen Zugdiagramms, wie es in Abb. 1 gezeigt ist, ermöglichen es recht gut, turbulente Schichten speziell bei stehendem ausgesegeltem Drachen direkt aus der Registrierung zu erkennen und unmittelbar nach dem Aufstieg bereits funkentelegraphisch ein Warnungstelegramm für den Flugverkehr abzusetzen. Auch diese Untersuchungen sind schon längere Zeit im Gange und haben interessante Relationen zwischen Böigkeit und Lage der Grenzschichten einerseits und dem Temperaturgradienten andererseits ergeben. Für eine genauere Untersuchung des Wesens der Böigkeit hat es sich als notwendig erwiesen, auch unmittelbar am Drachen selbst, also am anderen Ende des Kabels, Zugregistrierungen vorzunehmen. Eine solche Kurve vom gleichen Aufstieg wie Fig. 1 zeigt die Abb. 2.

Die augenblicklichen Arbeiten gehen nun darauf hin, die Relationen zwischen beiden Zugregistrierungen für das Turbulenzproblem auszuwerten. Es steht zu hoffen, daß bei der großen Bedeutung der geschilderten Studien für die Luftfahrt und die Windkraftforschung das Problem recht bald einer endgültigen Lösung zugeführt wird.

Aus dem Vorstehenden ist im wesentlichen der Gang und der Stand der Arbeiten des Observatoriums Lindenberg am Strömungsproblem sowie die Hauptresultate zu ersehen; wegen weiterer Einzelheiten muß auf Spezialabhandlungen verwiesen werden.

Aerologische Forschungen der Bayrischen Landeswetterwarte mit Unterstützung der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft

Prof. Dr. A. Schmauß, München

Die Bayrische Landeswetterwarte hat mit Hilfe der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft ein größeres aerologisches Programm in Angriff genommen, welches drei Abteilungen umfaßt:

1. Registrierballonaufstiege in großem Umfange, entsprechend den Wünschen der Internationalen Kommission zur Erforschung der hohen Atmosphäre. Es erschien dringlich, daß ein am Nordrande der Alpen gelegener Ort sich an allen Aufstiegen beteilige, nachdem man klar erkannt hat, daß die Alpen regulierend in den Kreislauf der Atmosphäre eingreifen. Die Wahl Münchens ergab sich einerseits aus der Nähe und Zugehörigkeit des Zugspitzobservatoriums, welches den Anschluß an die alpinen Verhältnisse zu vermitteln in der Lage ist, andererseits aus der Tradition Münchens als einer der Hauptstationen im Netze der Registrierballonstationen.

Die Untersuchungen und Analysen H. von Fickers der oberen und unteren Wellen in der Troposphäre wären ohne das Bestehen der Bergobservatorien nicht möglich gewesen, erheischen aber Vertiefung durch entsprechende Untersuchungen in der freien Atmosphäre.

2. Nach der Zugspitze führt bekanntlich eine auf österreichischem Gebiete gelegene Drahtseilbahn, welche den Meteorologen zu einer wissenschaftlichen Verwertung geradezu herausfordert. Wie man im Flachlande durch einen Drachen ein meteorologisches Registrierinstrument emporheben lassen kann, womit Lindenberg seine großen Erfolge erzielt hat, kann man der Passagierkabine der Zugspitzbahn einen Meteorographen mitgeben, welcher ein systematisches Studium der „Zwischenschicht" ermöglicht, deren Verhalten wir bisher nur aus dem Gange der meteorologischen Elemente an der Basisstation Partenkirchen und der Hochstation Zugspitze extrapolieren konnten. In vielen Fällen ist das unmöglich, das sind aber gerade die interessantesten Wetterlagen.

Jetzt erlaubt uns die Auf- und Abführung eines Meteorographen durch die Bahn eine rasche Sondierung, z. B. die exakte Feststellung der Lage einer Inversion, die genaue Ermittlung einer zwischen der Basis und der Hochstation gelegenen Nebelgrenze, das Herabkommen des Föhns und ähnliches.

Nach den bisher erhaltenen Registrierungen, für deren Überwachung und Auswertung ein junger Meteorologe an der Basisstation seine Arbeitsstätte errichtet hat, der täglich auch mindestens einen Aufstieg selbst mitmacht, darf angenommen werden, daß wir nach Umlauf der „Expedition", welche, statt in exotische Länder zu führen, das Interessante der Heimat fördern soll, über die „Bergatmosphäre" der Zugspitze werden genauen Bescheid geben können.

3. Wir haben von der „Bergatmosphäre" gesprochen und damit zum Ausdruck gebracht, daß die meteorologischen Verhältnisse der Atmosphäre durch das Bergmassiv umgeformt werden. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die an der Zugspitzbahn gefundenen Ergebnisse an die der „freien Atmosphäre" anzuschließen. Dieser Zweck wird erreicht einmal durch die schon erwähnten Registrierballonfahrten, aber naturgemäß nicht systematisch, weil wir dabei an die Internationalen Termine gebunden sind. Wir werden daher im Jahre 1928 noch ein weiteres Hilfsmittel hinzunehmen, das Flugzeug, welches vielfach schon zur Ergänzung von aerologischen Unternehmungen herangezogen wird. Wir erinnern nur an die Flugstelle Tempelhof (Berlin), welche die Arbeit Lindenbergs zu unterstützen berufen ist.

Die Fliegerschule Schleißheim bei München hat sich zur Übernahme dieser Aufgabe bereiterklärt; die sächlichen Kosten wird das zuständige bayrische Ministerium übernehmen, die Notgemeinschaft den Beobachter stellen, welchem auch die Auswertung der gewonnenen Registrierungen obliegen wird. Täglich soll ein bis über 3000 m reichender Aufstieg gemacht werden, um den Vertikalschnitt der freien Atmosphäre über München in Vergleich setzen zu können zu dem an der Zugspitze gewonnenen Schnitt.

So hofft die Bayrische Landeswetterwarte in einer eng umschriebenen Frage wertvolle aerologische Aufschlüsse zu erhalten, Beiträge zur Geophysik der Atmosphäre, welche sich die Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft zu fördern in dankenswerter Weise bereiterklärt hat.

Die Sonnenfinsternisexpedition 1927 des Potsdamer Meteorologischen Instituts

Geheimrat Prof. Dr. R. Süring, Potsdam

Die von der Notgemeinschaft ermöglichte Sonnenfinsternis-expedition des Meteorologischen Observatoriums Potsdam (Süring, Kühl, Albrecht) hatte sich in erster Linie die Aufgabe gestellt, den Strahlungsaustausch zwischen Luft und Boden unter extremen Verhältnissen zu vergleichen. Als Extreme kamen in Betracht eine vollständige Verfinsterung bei hochstehender Sonne und eine gar nicht unterbrochene Besonnung im Bereiche der Mitternachtssonne. Zu dem Zwecke wurde ein Ort gewählt, der noch gerade im Gebiet der Mitternachtssonne lag (Vittangi in Schwedisch-Lappland), möglichst gute Vorbedingungen für gleichmäßige Witterung bot und außerdem zur Ergänzung der direkten Beobachtungen durch photographisch-elektrische Registrierung elektrische Stromversorgung hatte. Die für solche Messungen gebräuchlichen Apparate wurden durch ein Polarisationsphotometer, eine von Dr. Albrecht gebaute Registriervorrichtung zur unmittelbaren Messung der Effektiv-Strahlung (Differenz zwischen kurzwelliger Einstrahlung und langwelliger Ausstrahlung) und eine von Prof. Kühl zusammengestellte Kaliumzellenregistrierung ergänzt.

Da der Himmel zurzeit der Sonnenfinsternis in Vittangi wolkenlos war bis auf eine Wolkenschicht tief am Horizont, und da ferner etwa eine Woche lang ungestörtes Strahlungswetter herrschte, konnte das Beobachtungsprogramm vollständig durchgeführt werden. Bemerkenswerterweise verlief während der Sonnenfinsternis die Änderung der Sonnenstrahlung ganz regelmäßig, nicht aber die der Himmelsstrahlung. Vermutlich haben hierbei zwei Umstände zusammengewirkt: eine durch die Witterungslage bedingte Zunahme der trübenden Teilchen und eine durch die Abkühlung bei der Verfinsterung erleichterte Kondensation dieser Teilchen. Das Verhältnis der Sonnenstrahlung zur Himmelsstrahlung weist somit Schwankungen auf, welche — wenigstens teilweise — erst durch die Ver-

finsterung bedingt sind. Im gleichen Sinne sprechen Messungen des Polarisationsgrades des Himmelslichtes, welche in Ergänzung früherer Beobachtungen bei partiellen Sonnenfinsternissen einen weiteren Beitrag zur Bedeutung der sekundären Diffusion in der Atmosphäre lieferten. Die Ergebnisse der mehrwöchentlichen Registrierungen des Strahlungsaustausches ohne Dazwischentreten der Nacht sind noch nicht abgeschlossen.

Kurzer Bericht über die Strahlungs- und Sonnenfinsternisexpedition des Universitätsinstituts für Meteorologie und Geophysik in Frankfurt (Main) nach Finnmarken (Nordnorwegen) im Juni 1927

Prof. Dr. F. Linke, Frankfurt (Main)

1. Daten der Expedition:

Abreise von Frankfurt (Main): 27. Mai 1927.
Ankunft in Nyborgmoen: 7. Juni 1927.
Beginn der Beobachtungen und Registrierungen: 9. Juni 1927.
Ende der Beobachtungen und Registrierungen: 29. Juni 1927.
Antritt der Rückreise: 30. Juni 1927.
Rückkehr nach Frankfurt: 8. Juli 1927.

2. Umfang der Strahlungsarbeiten:

Die Registierung der direkten Sonnenstrahlung (Gesamtstrahlung und zwei Spektralbereiche); Registrierung der Sonnen- und Himmelsstrahlung auf Kaliumzelle; Registrierung der effektiven Ausstrahlung zum Zenith; Registrierung der effektiven Strahlung auf eine schwarze Kugel in Verbindung mit Registrierungen der Windgeschwindigkeit; Beobachtung der direkten Sonnenstrahlung (Gesamtstrahlung und Rotstrahlung); Beobachtung der direkten Sonnenstrahlung auf Kadmiumzelle; Beobachtung der Polarisation des Himmelslichts an verschiedenen Punkten des Himmels; Beobachtung der Himmelsfärbung.

3. Ergebnisse:

Es fanden sich für verschiedene Luftkörper folgende mittlere Trübungsfaktoren:

Luftkörper	Trübungsfaktor für		
	Gesamt-strahlung	Rot-strahlung	kurzwellige Strahlung
Rein polare Luft	1,74	2,83	1,33
Polar maritime Luft	2,12	3,85	1,33
Polar kontinentale Luft	2,04	3,40	1,60
Tropisch kontinentale Luft	2,75	4,85	1,85

Das Eintreten der verschiedenen Luftkörper und die dabei auftretenden meteorologischen Vorgänge konnte mit Hilfe der Strahlungsbeobachtungen in außerordentlich eindrucksvoller Weise beobachtet werden. Die Definition der Luftkörper durch ihre Trübungsfaktoren ist von grundlegender Bedeutung.

Die Sonnen- und Himmelsstrahlung, gemessen mittels Kaliumzelle, insbesondere das Verhältnis zwischen Sonnen- und Himmelsstrahlung, sind bei heiterem Himmel allein abhängig vom Trübungsfaktor für kurzwellige Strahlung, was quantitativ nach Abhängigkeit von der Sonnenhöhe festgelegt wurde. Das Verhältnis der Intensität der Sonnenstrahlung zur Himmelsstrahlung an besonders trüben Tagen (für kurzwellige Strahlung) war doppelt so groß wie an besonders heiteren Tagen. Diese Unterschiede wachsen mit abnehmender Wellenlänge, sind aber auch noch in der langwelligen Strahlung vorhanden.

Auch bei der effektiven Ausstrahlung zum Zenith wie bei der Polarisationsgröße im Punkte maximaler Polarisation ließ sich der Einfluß des Trübungsgrades nachweisen.

Überraschenderweise zeigte die im Tubus gemessene Kadmiumstrahlung keinen Einfluß des Trübungsgrades; er wird hier dadurch kompensiert, daß außer der direkten Sonnenstrahlung, die bei höherer Trübung geschwächt wird, ein großer Teil des sonnennahen Himmels zur Wirkung gelangt, der bei größerer Trübung stärker strahlt.

Auch die Strahlung von Sonne und Himmel auf eine Schwarzkugel läßt die für die Wärmebilanz der Erde außerordentlich wichtige Abhängigkeit der Lufttrübung zahlenmäßig erkennen.

4. Besondere Ergebnisse während der Sonnenfinsternis:

Es wurde die mittlere Strahlung gleich großer Teile der Sonnenscheibe aus den Registrierungen berechnet, nämlich für die zentrale

Zone, die Randzone und eine mittlere Zone. Das Verhältnis der Intensität der zentralen Zone zur Randzone war:

für die Kadmiumstrahlung 3,1;
für kurzwellige Strahlung (Maximum 400—500 $\mu\mu$) 2,2;
für die Gesamtstrahlung 1,35;
für die rote und ultrarote Strahlung 1,2.

Die Gegenstrahlung des Zenithpunktes des Himmels nahm infolge Wegfalls der hellen Strahlung um 22% ab.

Besonders bemerkenswert war die Abnahme des Quotienten Himmelsstrahlung durch Sonnenstrahlung auf die Kaliumzelle. Statt einer zu erwartenden Zunahme dieses Quotienten ergab sich eine deutliche Abnahme während der Sonnenfinsternis, die nur durch eine Verminderung des Trübungsgrades infolge Absinkens der Luft in der Finsterniszone erklärt werden kann.

Polarisationsgröße und Neigung der Polarisationsebene gegen die Vertikale zeigten in keinem der beobachteten sechs Himmelspunkte während der Sonnenfinsternis eine deutliche Einwirkung; nur lag während der Finsternis die Polarisationsgröße über dem Normalwert, was ebenfalls als Beweis für die während der Finsternis auftretende Aufklärung anzusehen ist.

Allgemein bieten die gewonnenen Beobachtungen infolge der bei der Finsternis herrschenden idealen Verhältnisse (vollständig wolkenloser Himmel) ein wertvolles Material für weitere Forschungen.

Die atmosphärischen Beeinflussungen der elektromagnetischen Wellenausbreitung

Dr. P. Duckert, Lindenberg

Ein zwar nicht mehr neues, aber noch immer akutes Problem stellt die Frage nach der Beeinflussung der elektromagnetischen Wellen durch die Atmosphäre und deren Zustandsänderungen dar. Eine streng mathematische Lösung der Differentialgleichungen, ja sogar eine einwandfreie Aufstellung derselben selbst für ganz spezielle Probleme dieser Art, ist bisher nicht gelungen. Nachdem alle Versuche, einen theoretischen Aufschluß zu erhalten, an der Allgemeinheit der Fragestellung scheitern mußten, habe ich seit dem Jahre 1925 systematisch bei den verschiedensten Wetterlagen atmosphärische Einflüsse auf die Wellenausbreitung gesucht. Die Arbeiten erstreckten sich im wesentlichen auf drei Probleme: erstens auf die Frage nach den Einflüssen der Atmosphäre auf die Lautstärke und ihre Schwankungen, zweitens der Einfluß verschiedenster Witterungserscheinungen auf die scheinbare Peilrichtung der Stationen und endlich drittens auf das Problem, wo die Hauptherde der atmosphärischen Störungen zu suchen sind, und wie sie sich auf die Empfangsapparatur bemerkbar machen. Durch das bereitwillige Entgegenkommen der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft war es möglich, in ziemlichem Umfange Instrumentbeschaffungen durchzuführen, die das Resultat stets weiter verfeinern ließen.

Die Einflüsse der Wetterlagen auf die Ausbreitung der elektromagnetischen Wellen, speziell auf die Lautstärke und ihre Schwankungen, habe ich bereits in den „Arbeiten des Aeronautischen Observatoriums Lindenberg", Bd. XV, ausführlicher behandelt. Ich hatte hierbei auf ganz anderem Wege, als es seinerzeit F. Herath getan hat, zunächst ganz ähnliche Einflüsse der Gleitflächen, also der Grenzschichten zwischen zwei Luftkörpern der Atmosphäre, auf die Lautstärke der Stationen gefunden, habe aber gleichzeitig darauf hingewiesen, daß besonders das Verhalten der Feuchtigkeit in der Höhe ausschlaggebend für die Stärke des Störungseffektes ist. Die Ar-

beiten, die sich seinerzeit speziell auf Wellen zwischen 600 und 6000 m bezogen, haben weiter gezeigt, daß neben den großen langperiodischen Einflüssen, wie ich sie nennen will, die etwa in folgende Form zu bringen sind, daß die Wellenausbreitung in einem einheitlichen Luftkörper so gut wie ungestört vor sich geht, dagegen beim Durchstoßen der Grenze zweier Luftkörper erhebliche Schwächungen auftreten, gerade als ob ein Abschirmblech zwischen zwei Kopplungsspulen des Empfangsapparates gelegt wird, noch kurzperiodische Einflüsse vorhanden sind, die auch eine große Anzahl von Rückschlüssen auf höher gelegenen Unstetigkeiten in der Atmosphäre ermöglichen. Speziell der Durchgang von Warmluftmassen in der Höhe über dem Empfangsort prägt sich momentan sehr scharf aus, vielleicht gerade, weil hierbei gewöhnlich besonders scharfe Feuchtigkeitssprünge zwischen den beiden in Frage kommenden Luftmassen vorhanden sind. Einige Beispiele sind in der genannten Arbeit ausgeführt. Die angestellten Messungen sind bisher Relativmessungen gewesen. Durch das Entgegenkommen der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft, die für diese Studien ein Gerät zur Messung der absoluten Feldstärken zur Verfügung stellen will, wird es möglich sein, die Messungen noch zu verfeinern. Leider ist die Apparatur durch die AEG. noch nicht geliefert.

Für die im allgemeinen lautstärkeren Kurzwellensender habe ich das Problem weiter behandeln können und mit einem laboratoriumsmäßigen Feldstärkemesser einigermaßen einwandfreie Werte ableiten können. Auch hierbei haben sich, wenn auch oft in weit geringerem Maße, atmosphärische Einflüsse der vorgenannten Art erkennen lassen. Bei dem bedeutend steileren Durchgang der Wellennormalen durch das in Frage kommende Aktionsgebiet der Atmosphäre ist es ja auch nicht zu erwarten, daß die Effekte besonders große Beträge annehmen.

Das zweite in Lindenberg ziemlich umfangreich behandelte Gebiet befaßt sich mit dem Einfluß der Atmosphäre auf die Radiopeilung. Die Anregung hierzu wurde durch die immer wachsende Bedeutung der drahtlosen Funkortung und deren Inanspruchnahme durch den See- und Luftverkehr gegeben. Die Versuche und Messungen, die sich im wesentlichen auf das Gebiet zwischen 300 und 2000 m Wellenlänge erstreckten, haben bald erkennen lassen, daß besondere Wetterlagen wahre Störenfriede jeder Funkpeilung sind. Nachdem die Hauptmerkmale solcher Witterungserscheinungen festgelegt waren, konnte

nunmehr jede Gelegenheit, bei diesen Wetterlagen zu peilen, ausgenutzt werden. Um ganz sicher vor Beeinflussung durch Rückstrahlfelder örtlicher Natur, durch Baulichkeiten und Kabel, zu sein, sind nur solche Fälle für das weitere Studium berücksichtigt worden, bei denen es während der Beobachtungszeit möglich war, deutliche Wanderungen des Peilstrahles zu ermitteln. Ein umfassendes abschließendes Ergebnis konnte, nach verschiedenen kleinen Mitteilungen, im September 1927, bei der Tagung der Heinrich-Hertz-Gesellschaft, in deren Studienkommission vorgetragen werden. Die Bedingungen für das Eintreten von Peilschwankungen ließen sich ziemlich scharf umrissen so formulieren, daß sie immer dann auftraten, wenn am Boden oder in nächster Nähe desselben eine Temperaturinversion mit nach oben zunehmender oder mindestens gleichbleibender spezifischer Feuchtigkeit lag. Der so beschriebene Zustand stellt aerologisch ein wenig stabiles Gebilde, eine Aufgleitfläche meist passiver aber auch gelegentlich aktiver Art dar, die bei stark ausgebildeter Inversion direkt labilen Charakter trägt. Mit dieser Erkenntnis war die Möglichkeit gegeben, auch von anderen Stationen mir zufällig bekannt gewordener Peilergebnisse kritisch zu sichten und die Ergebnisse zu verwerten. Das Resultat dieser Arbeit bestätigte meine oben aufgestellten Forderungen vollkommen, ja alle Erscheinungen der Peilschwankungen während der Tag-, Nacht- und Dämmerungsstunden waren in diese Theorie einzureihen. Auch die Durcharbeitung größerer Reihen von Seepeilungen zeigten Übereinstimmung. Für weitere Einzelheiten über die Ergebnisse verweise ich auf die entsprechende Arbeit in den „Mitteilungen des Aeronautischen Observatoriums Lindenberg", Seite 123 ff.

Die Anwendung dieser Erkenntnisse auf das vielumstrittene Gebiet der Frage nach der Küstenbrechung ist ebenfalls durchgeführt worden; das Ergebnis wird in Kürze in den „Beiträgen zur Physik der freien Atmosphäre" veröffentlicht werden.

Für die Erfassung der Natur der atmosphärischen Störungen wurden zwei Wege eingeschlagen. Der eine umfaßte im wesentlichen eine theoretische Untersuchung über die Art, wie sich die Störungen auf ein Empfangsgerät bemerkbar machen. Speziell wurde auch die Möglichkeit geprüft, ob man durch sogenannte Antistörungsschaltungen den Empfang drahtloser Signale von den zum Teil sehr unangenehmen Effekten der atmosphärischen Störungen freimachen könnte. Das Ergebnis war in bezug auf letztere Frage wenig ermutigend. Es ließ

sich beweisen, daß das einzige Hilfsmittel, um die Einflüsse der atmosphärischen Störungen herabzusetzen, in einer starken Entdämpfung des zur Aufnahme benutzten Schwingungskreises liegt. Alle anderen, selbst in wissenschaftlichen Zeitschriften immer wieder auftauchenden Vorschläge praktischer Störungsbefreiung ergeben bei theoretischer und praktischer Prüfung, daß abgesehen von etwa eingeführten Richteffekten keine Verbesserungen erzielt werden können. Der zweite Weg, der darauf hinauslief, der Natur und Herkunft der atmosphärischen Störungen näherzukommen, wurde zunächst mit der Aufstellung eines automatischen Peilgerätes beschritten. Nach Vorschlägen von Watson Watt wurde ein Rahmenkreis auf eine sehr hohe Wellenlänge, in Lindenberg auf etwa 27000 m, abgestimmt. Die in ihm aufgenommene Energie wird durch einen Hochfrequenzverstärker einem Audion zugeführt, dort in Niederfrequenz umgesetzt und nach weiterer Niederfrequenzverstärkung möglichst vollkommen gleichgerichtet und einem Oszillographen aufgedrückt. Die Registrierung wird in der Weise vorgenommen, daß der Rahmen durch ein Uhrwerk in Umdrehungen versetzt wird (Umlaufszeit 15 Minuten), die Registriertrommel sitzt auf der Rahmenachse und wird mit dieser herumgedreht, außerdem aber noch auf einer Spirale nach unten verschoben. Auf dem Registrierpapier wird also bei in Ruhe befindlicher Oszillographenfeder eine Schneckenlinie aufgezeichnet.

Wenn nun der Rahmen auf einen Herd atmosphärischer Störungen zeigt, wird im Rahmenkreis eine elektromotorische Kraft induziert. Der entsprechende Anodenstrom durchfließt den Oszillographen, und die Schreibfeder desselben vollführt dann zur Schneckenlinie senkrecht stehende Ausschläge. Die Häufigkeit und Länge dieser Ausschläge gibt ein eichbares Maß für die atmosphärische Störung.

Es werden also registriert: die Richtung der Störungen, die Stärke der einzelnen Störimpulse und die Anzahl der Störungen in einer bestimmten Zeiteinheit. Die Apparatur ist am Observatorium Lindenberg seit dem August 1926 versuchsweise und seit November 1926 dauernd in Betrieb. Sie hat bisher außerordentlich interessantes Material über die Häufung der Störungen und ihre täglichen und auch die jährliche Periode ergeben. Genauere Zahlenwerte hierüber können erst nach Abschluß der außerordentlich zeitraubenden Auswertungen dieser Registrierungen vorgelegt werden, dauert doch die Auswertung der Registrierung eines Tages allein etwa 4—5 Stunden. Bisher läßt sich nur sagen, daß die Störungen in den weitaus

meisten Fällen bei zyklonalem Wetter in ostwestlicher Richtung auftreten, und in den meisten Fällen aus Stellen besonders starker Aufgleitbewegungen an Grenzflächen von Luftkörpern herkommen. Ganz allgemein findet man, daß immer die Richtungen besonders stark mit Störungen erfüllt sind, die auf ein Druckfallgebiet hinweisen. Durch Zusammenfassung von mehreren Peilern in größeren Entfernungen voneinander, kann man den scheinbaren Störungsherd in gewissen Unsicherheitsgrenzen ja festlegen. R. H. W. Watt hat mir derartige Orte anläßlich eines Besuches am hiesigen Observatorium bezeichnet. Ein Vergleich mit den Arbeitswetterkarten des Observatoriums ergab, daß in der Tat die Peilungen aller Stationen derartige Druckfallgebiete anschnitten. Dem Ganzen überlagert scheint eine Bewegung eines weiter abgelegenen Störungsherdes mit der Sonne parallel zu gehen. Über die Reichweite von Störungen läßt sich Genaueres noch nicht aussagen. Aus der bisherigen Bearbeitung scheint aber hervorzugehen, daß besonders die scharfen Knackgeräusche ganz beträchtliche Entfernungen überbrücken.

Dieses letzte Problem ist in seinen Konsequenzen noch nicht endgültig abgeschlossen und wird wahrscheinlich noch umfangreiche Arbeiten notwendig machen. Die beiden erstgenannten hingegen sind meines Erachtens von mir bis zu dem Stadium befördert, daß man einwandfreie Bedingungen für das Auftreten von Lautstärkeschwankungen und das Vorhandensein von Peilschwankungen angeben kann, wenngleich auch eine streng theoretische Begründung eben wegen der Schwierigkeit der Problemstellung noch aussteht.

Der Ozongehalt in der freien Atmosphäre über Lindenberg und einige Relationen zu geophysikalischen Elementen

Dr. P. Duckert, Lindenberg

Für die moderne Physik der freien Atmosphäre gewinnt die Kenntnis der Zusammensetzung der höheren Atmosphärenschichten immer mehr an Bedeutung. Der direkten Erforschung derselben in bezug auf Zusammensetzung und Temperatur bis über 25—30 km hinaus stellen sich merkliche Schwierigkeiten insofern entgegen, als die Gummiballone, die bisher als Instrumententräger zu Sondierungen dieser Art benutzt wurden, keine größeren Höhen zu erreichen gestatteten. Andere Methoden, Meßwerkzeuge in die Höhe zu senden, beispielsweise durch Raketen oder Granaten, sind in den Anfangsstadien steckengeblieben.

So bleibt zunächst nichts anderes übrig, als zu indirekten Methoden zu greifen. Wie auch in der Astrophysik leistet hierbei die Spektrographie eine wertvolle Hilfe, die manches Problem hat lösen helfen.

Neben den Versuchen, den Wasserstoff-, Sauerstoff- und Stickstoffgehalt der oberen Atmosphärenschichten zu ermitteln, bietet neuerdings die Frage nach dem Ozongehalt der Gesamtatmosphäre höheres Interesse. Da zur Bildung des Ozons Ionisierungsvorgänge der verschiedensten Art notwendig sind und auch über diese Erscheinungen daher innerhalb gewisser Grenzen Kenntnis erlangt werden kann, ist diese Fragestellung wichtig.

Aus diesen Erwägungen heraus wurde die von Dobson, Oxford, angewandte Methode der Ozonbestimmungen[1]) auf seinen Vorschlag hin auch in Lindenberg in Angriff genommen, so daß heute schon mehrere Stationen in Europa laufend derartige Messungen ausführen, die einen Zusammenhang zwischen Ozongehalt der Gesamtatmosphäre und anderen geophysikalischen Elementen suchen.

Zunächst seien kurz das bereits von Dobson beschriebene Prinzip der Messungen und die verwandte Apparatur skizziert.

[1]) G. M. B. Dobson und D. N. Harrison, Measurements of the Amount of Ozone in the Earth's Atmosphere. Proc. of Roy. Soc. A 110, 1926.

Ozon besitzt eine Reihe von Absorptionsbanden im ultraroten, im sichtbaren und auch im ultravioletten Gebiet des Spektrums. Die ultravioletten Banden erstrecken sich von etwa 2000—3300 A, mit einem ausgeprägten Maximum bei 2550 A. Sie liegen also praktisch

Tabelle I.

Extinktionskoeffizienten des Ozons im ultravioletten Gebiet.

Wellenlänge λ	Extinktionskoeffizient a
2300 Å	50,0
2400 „	95,0
2500 „	120,0
2600 „	120,0
2700 „	91,0
2800 „	46,0
2900 „	16,6
3000 „	4,6
3100 „	1,23
3200 „	0,35
3300 „	0,093
3400 „	0,025

a ist bezogen auf Konzentration des Gases bei 0° und 760 mm Druck, wo also

$$I = I_0 \cdot 10^{-ad}$$

ist, wenn noch d die Schichtdicke in cm, I_0 die Intensität des einfallenden, I die des ausfallenden Lichtes bedeutet.

am ultravioletten Ende des Sonnenspektrums. Dieses schließt unter normalen Umständen, bedingt durch das Absorptionsvermögen der Gesamtatmosphäre, etwa bei 2900 Å ab. Diese Grenze wird naturgemäß variiert einmal durch die Neigung, unter der die Sonnenstrahlen die Atmosphärenschicht durcheilen, also praktisch durch die Zenithdistanz der Sonne, zum anderen aber auch, wie aus der oberen Tabelle I hervorgeht, durch das große Extinktionsvermögen des Ozons bedingt.

Studien über die Intensität und die Grenzen des ultravioletten Sonnenspektrums vermögen demnach auch unter anderem Aufschluß über den Ozongehalt der Atmosphäre zu geben.

Für die spektrographischen Aufnahmen wird ein Quarzspektrograph einfachster Bauart verwendet. Eine Quarzlinse von etwa

45 cm Brennweite entwirft ein Bild der Sonne auf einem Spalt, ein reflektierendes Cornuprisma erzeugt dann auf der photographischen Platte das Sonnenspektrum, und zwar werden die Spektrallinien bei dieser Art des Spektrographen gerade und nicht gekrümmt abgebildet, was zweifellos als ein großer Vorteil anzusprechen ist. Dicht vor der photographischen Platte ist ein Graukeil eingeschaltet, welcher aus einer dünnen, in Gelatine gelagerten Kohleschicht, zwischen zwei Quarzplatten angeordnet, besteht. Er dient dazu, Intensitätsmessungen der verschiedenen Spektrallinien direkt auf der photographischen Platte auszuführen und sie direkt auf Abstandsmessungen gleich heller Teile der Linien von einer festen Marke aus zurückzuführen. Dies geschieht mit Hilfe eines eigens hierzu konstruierten Spezialmikrophotometers.

Eine gewisse Schwierigkeit bedeutet noch die Beseitigung des diffusen störenden Lichtes längerer Wellenlängen. Ein in solchen Fällen gewählter Weg zur Beseitigung bestand nach den Vorgängen von Fabry und Buisson[1]) in der Verwendung eines Spektrographen mit zwei gekreuzten Quarzprismen, ein übrigens auch heute noch viel benutzter Ausweg. Dobson verwendet an seiner Stelle im Strahlengang noch vor dem Mikrometerspalt eine Quarzröhre, die mit Chlor und Bromdämpfen gefüllt ist. Die Filterwirkung dieses Gemisches beruht auf der Tatsache, daß Brom die Gebiete von etwa 5500 bis etwa 3600 Å stark absorbiert, wohingegen Chlor von 3600 bis etwa 2900 Å mit einem ausgeprägten Maximum bei 3400 A absorbierend wirkt. Durch Versuche ist eine Mischung für das Filter hergestellt, welche die störungsfreie Aufnahme des für die Ozonmessungen gebrauchten Spektralgebietes von 3300 bis 2950 Å gestattet, wobei die in dieses Gebiet noch hineinreichende schwache Absorption durch den Chlorgehalt dafür sorgt, daß die wesentlich hellere Partie um 3300 Å herum den Teil des Spektrums bei 3000 Å nicht überstrahlt.

Mit der beschriebenen Apparatur werden fortlaufend Aufnahmen der Sonne gewonnen und der Gang des Ozongehaltes verfolgt. Damit alle nacheinander erhaltenen Platten vergleichbare Werte geben und die Ungleichheiten infolge verschiedener Entwicklungs- oder Belichtungszeiten ausgeglichen werden können, werden alle Platten einheitlich mit einer Normallampe in einem schwachen Streifen belichtet.

[1]) Fabry und Buisson, Astrophysikalisches Journal, Dezember 1926.

Die Schwärzung dieses Streifens gibt einen identischen Anhalt für alle Aufnahmen.

Die Methode der Auswertung der erhaltenen Aufnahmen beruht auf folgender Überlegung. Bezeichnet man wieder mit I_0 die Intensität des einfallenden, mit I_λ die des an der Erdoberfläche aufnehmbaren Sonnenlichtes der Wellenlänge λ, mit z die Zenithdistanz der Sonne, mit $a(h)_\lambda$ den Absorptionskoeffizienten in der Höhe h über der Erdoberfläche und endlich mit dh die einzelnen vertikal gemessenen äquivalenten Schichtdicken, bezogen auf Normaldruck und -temperatur, so ist allgemein unter Vernachlässigung der Erdkrümmung:

$$\text{Log } I_{0\lambda} - \log I_\lambda = \int_0^\infty a(h)_\lambda \cdot \sec z \cdot dh = A_\lambda \cdot \sec z$$

wo A_λ unabhängig von z ist und daher auch allgemein der Absorptionskoeffizient der Atmosphäre für die Wellenlänge λ genannt wird.

Man kann nunmehr durch eine größere Reihe von Aufnahmen bei verschiedenen z den jeweils für jedes λ gültigen Koeffizienten $\mathbf{A}_\lambda$ bestimmen und hieraus den Ozongehalt ableiten oder aber auch, wenn die nötigen Konstanten einmal bestimmt sind, aus einer einzigen Aufnahme diesen Gehalt ableiten, indem man zwei Wellenlängen am Rande der Banden, also bei stark verschiedenen Absorptionskoeffizienten für Ozon, betrachtet. Hierzu ist zu bemerken, daß der Wert A_λ zwar ziemlich verwickelter Natur sein kann, für das in Frage kommende Gebiet aber, wie die Ergebnisse Dobsons zeigen, mit größter Annäherung aus drei Komponenten bestehend angesetzt wird.

$$A_\lambda = \beta_\lambda + \delta + a_\lambda \cdot \Delta h$$

Hierin bedeutet β_λ den Koeffizienten der von Teilchen in der Atmosphäre, die klein gegen λ sind, herrührenden Trübung, der übrigens nach anderen Untersuchungen proportional zu λ^{-4} verläuft; δ stellt den von λ unabhängigen Koeffizienten der Trübung dar, der von gegen λ großen Teilchen, wie Wassertropfen usw., hervorgerufen wird. a_λ ist der Absorptionskoeffizient des Ozons und Δh die Dicke der äquivalenten Ozonschicht. An dieser Stelle sei bemerkt, daß diese Darstellung natürlich verlangt, daß a_λ von Temperatur und Druck unabhängig ist, eine an und für sich noch nicht hinreichend sicher bewiesene Annahme. Des weiteren ist hiermit vorausgesetzt, was allerdings aus der Beobachtung bei Betrachtung mehrerer Wellenlängen-

paare bei der Schichtdickenberechnung bewiesen werden kann, daß kein anderer atmosphärischer Bestandteil Absorptionsbanden in dem betrachteten Gebiet hat.

Der Teilwert $\beta_\lambda + \delta$ kann durch Messungen der A_λ in Gebieten, in denen das Glied $a_\lambda \cdot \Delta h$ gleich Null oder einem durch Änderungen von Δh wenig beeinflußbaren kleinen Wert gesetzt werden kann, für alle in Frage kommenden λ bestimmt und infolge der oben angegebenen Abhängigkeiten von λ auch geprüft werden. Hiernach ist die Bestimmung von Δh aus der restierenden Beziehung

$$\Delta h = \frac{1}{a_\lambda} \cdot (A_\lambda - \beta_\lambda - \delta)$$

bei bekanntem a_λ ohne weiteres möglich. Und zwar muß Δh für alle Wellenlängen λ gleich herauskommen, wenn tatsächlich Ozon der einzige in dem fraglichen Gebiet absorbierende Bestandteil ist. Dies ist nun in der Tat der Fall.

Nach dem hier skizzierten ist der andere Weg der Bestimmung von Δh aus einer Aufnahme ohne weiteres ersichtlich. Auf ihn soll daher hier nicht weiter eingegangen werden, ebensowenig sollen die einzelnen kleinen Fehlermöglichkeiten behandelt werden, da Dobson von allen gezeigt hat, daß sie das Resultat nur ganz unwesentlich beeinflussen.

Im nachfolgenden sollen nunmehr besondere Ergebnisse der Ozonmessungen in Lindenberg im Jahre 1926 und 1927 kurz zusammengestellt werden und einige Zusammenhänge mit anderen geophysikalischen Elementen und Vorgängen gezeigt werden. Die Ausmessung der erhaltenen Aufnahmen sind von Herrn Prof. Dobson der Einheitlichkeit des Materials halber ausgeführt worden, um so mehr, da hier ein geeignetes Mikrophotometer fehlte.

Vom Juli 1926 bis einschließlich Juli 1927 wurden an 147 Beobachtungstagen insgesamt 249 brauchbare Messungen des Ozongehalts gewonnen.

Die erhaltenen Werte wurden mit allen möglichen aerologischen Elementen und Meßergebnissen in Beziehung gesetzt und zum Teil sehr gute Korrelationen mit diesen aufgefunden. Es sollen an dieser Stelle nicht alle aufgeführt werden, da in vielen eine Wiederholung der von Dobson und seinen Mitarbeitern bereits publizierten interessanten Beziehungen zum Luftdruck, zur Temperatur (beides auf die verschiedensten Höhen bezogen), zu der Zahl der Sonnenflecken,

zu erdmagnetischen Erscheinungen und anderem stattfinden würde. Ich will hier nur einige wenige Abbildungen geben, die bisher noch nicht veröffentlichte Zusammenhänge zu Elementen der höchsten durch Meßkörper erreichten Atmosphärenschichten zeigen.

Die Abb. 1—4 stellen die Beziehungen zwischen der Druckdifferenz in mb zwischen zwei verschiedenen Höhenlagen, also praktisch der Luftdichte und der gemessenen äquivalenten Ozonschicht dar. Ausgewählt sind hierbei speziell die Werte zwischen 10 und 12, 12 und 14, 14 und 16 und endlich zwischen 16 und 18 km Höhe. Engere Intervalle konnten nicht ausgewählt werden, weil dann die eventuelle fehlerhafte Bestimmung der Druckdifferenz prozentual zu hoch in das Ergebnis eingegangen wäre. Beim Betrachten der Fig. 1, 3 und 4 fällt auf, daß die Meßwerte sehr nahe auf glatten Kurven gelegen sind, daß also eine sehr enge Beziehung zwischen den Werten bestehen muß. Aus dem Rahmen heraus fällt die Abb. 2, die sich auf die Druckdifferenz zwischen 12 und 14 km Höhe bezieht. Der Grund hierfür konnte noch nicht einwandfrei ermittelt werden. Auffallend ist, daß beim Heranziehen von noch geringeren Höhen die Beziehungen ebenfalls wieder schlechtere werden.

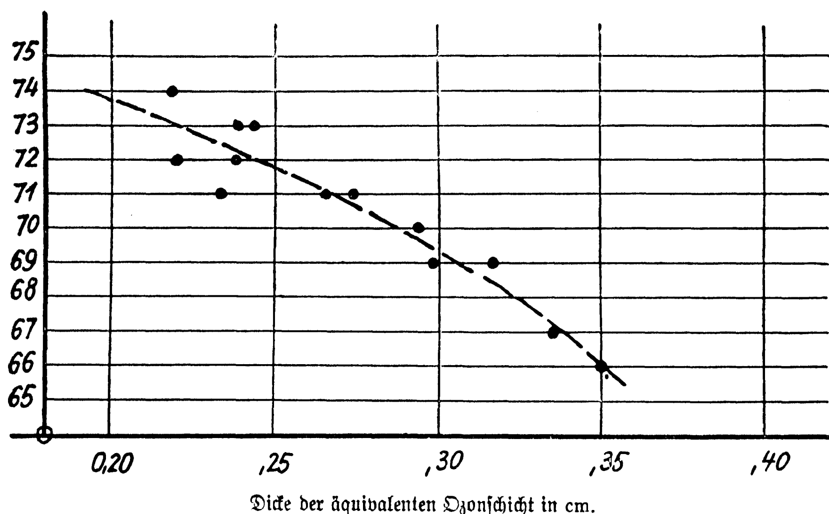
Zu den Abbildungen und deren Werten muß ich noch bemerken, daß sie nur Lindenberger Ozonmessungen und Lindenberger Höhenmaterial enthalten. Bis in die benutzten Höhen von 18 km ist damit zu rechnen, daß die Fehler der Werte der Luftdruckdifferenzen bei den von uns verwendeten Apparaten den Betrag von 1 mb kaum überschreiten. Die Ozonwerte sind auf 0,005 cm genau.

Ein Vergleich der Abb. 3 mit einer von mir aufgezeichneten entsprechenden Darstellung von englischen Werten ergibt sehr nahe Übereinstimmung mit unseren Werten. Die gestrichelt gezeichnete Kurve würde bei diesen englischen Werten etwa um 1 mb nach oben verschoben liegen. Die Angaben der englischen meteorologischen Werte sind für die fragliche Höhe etwa auf 3 mb genau.

Mannigfaltige andere Ausdrucksformen der aus den Abbildungen zu folgernden Tatsachen sind noch aufstellbar, können aber an dieser Stelle nicht besprochen werden; ich muß hierzu auf die ausführliche Veröffentlichung der Ergebnisse in den Publikationsorganen des Observatoriums Lindenberg verweisen.

Bemerken will ich hier nur noch, daß die außerordentlich engen Beziehungen zwischen Ozonschichtdicken und Luftdichte, die ja auch meteorologisch nicht allzu komplizierte Deutungen zulassen, uns in die

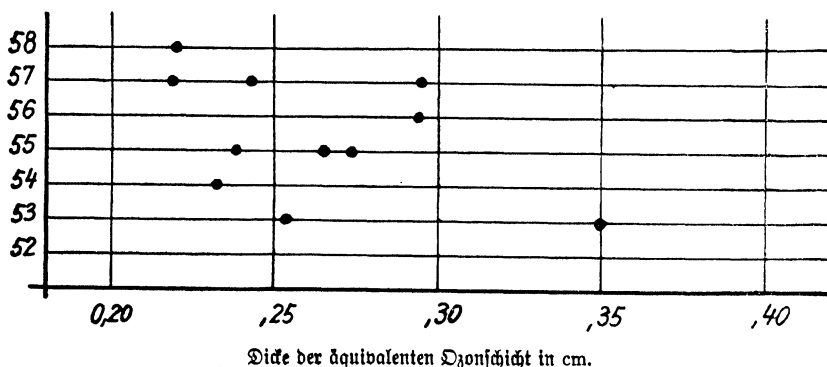
Beziehung zwischen Schichtdicke der äquivalenten Ozonschicht und der Druckdifferenz zwischen 10 und 12 km Höhe.



Dicke der äquivalenten Ozonschicht in cm.

Abb. 1.

Beziehung zwischen Schichtdicke der äquivalenten Ozonschicht und der Druckdifferenz zwischen 12 und 14 km Höhe.



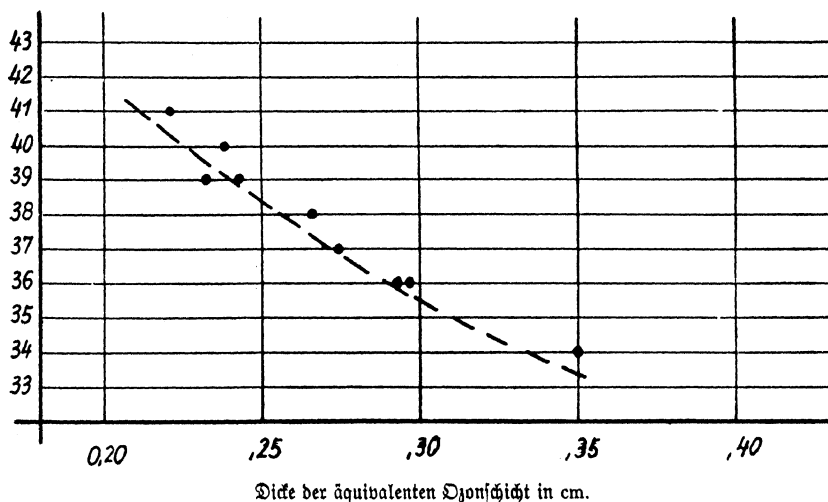
Dicke der äquivalenten Ozonschicht in cm.

Abb. 2.

Lage versetzen, mit Hilfe der Ozonspektrographie Höhen-Aerologie zu treiben.

Die Tatsache, daß auch bei unseren Messungen aus dem Vergleich mit Ballonsondeaufstiegen eine sehr enge Beziehung zwischen Ozon-

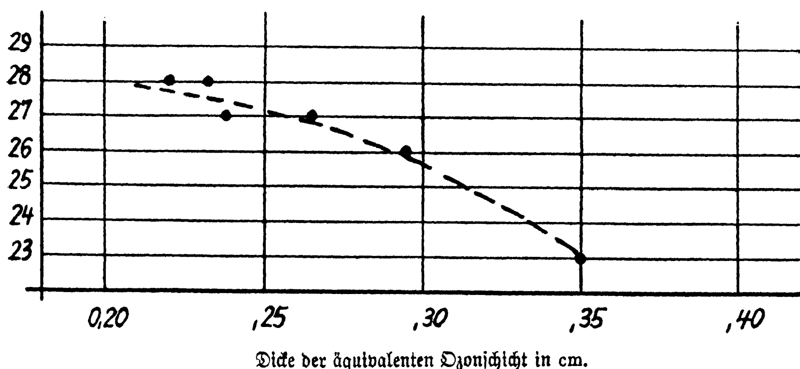
Beziehung zwischen Schichtdicke der äquivalenten Ozonschicht und der Druckdifferenz zwischen 14 und 16 km Höhe.



Dicke der äquivalenten Ozonschicht in cm.

Abb. 3.

Beziehung zwischen Schichtdicke der äquivalenten Ozonschicht und der Druckdifferenz zwischen 16 und 18 km Höhe.



Dicke der äquivalenten Ozonschicht in cm.

Abb. 4.

gehalt und dem Luftdruck in 12 km Höhe zu ermitteln ist, lassen mich die auch von Dobson ausgesprochene Vermutung, daß in jenen Höhen noch ein beträchtlicher Ozongehalt vorhanden ist, nur unterstreichen.

506 N91D
V.4

آخری درج شدہ تاریخ پر یہ کتاب مستعار
لی گئی تھی مقررہ مدت سے زیادہ رکھنے کی
صورت میں ایک آنہ یومیہ دیرانہ لیاجائے گا۔

15109